ING. GUIDO SCHIPANI
(GUIS)

LE AMPOLLE ELETTRONICHE

ULRICO HOEPLI - EDITORE - MILANO

LE AMPOLLE ELETTRONICHE

Ing. G. SCHIPANI
(GUIS)

LE AMPOLLE ELETTRONICHE

VALVOLE TERMOIONICHE E CELLULE FOTOELETTRICHE

TEORIA = CALCOLO = COSTRUZIONE = APPLICAZIONI

Con 200 illustrazioni

ULRICO HOEPLI
EDITORE LIBRAIO DELLA REAL CASA
MILANO

1931-IX

PREFAZIONE

Al lettore,

La forma piana, qualche volta preferita alla stessa precisione scientifica, usata per rendere con chiarezza i concetti dei fenomeni elettronici, potrebbe far comprendere questo libro fra i diversi volumi dedicati al profano per far distinguere una valvola di alta frequenza da una di bassa frequenza, o per insegnare ad unire insieme i pezzi di un apparecchio radioricevente.

Non è invece questo lo scopo del libro.

E se il lettore avrà la pazienza di giungere fino all'ultima pagina dopo un'attenta lettura di tutti gli argomenti trattati se ne accorgerà.

In una lunga pratica tecnico-commerciale ho assistito a molti casi di profani che, sicuri delle proprie conoscenze, hanno voluto passare dal campo teorico al pratico improvvisandosi costruttori di uno dei tanti schemi pubblicati da libri e riviste. Risultati buoni, e fin qui nulla di male. Ma quando, ahimè, il costruttore ha voluto apportare una sua *piccola modifica, il solo cambio di una valvola gli ha compromesso i risultati.*

Conclusione: *Colpa della valvola difettosa o, peggio, della Casa Costruttrice che indica caratteristiche diverse dalle reali.*

E guai quando il dilettante è passato dai triodi comuni, alle valvole schermate. Ripetendo il montaggio del suo apparecchio con tali valvole, quale delusione!

La valvola schermata, amplificazione 1000, *rende meno del vecchio triodo di amplificazione* 10!

Come mai?

Ancora colpa della valvola o della Casa costruttrice.

Ecco, questo libro si rivolge al dilettante costruttore o montatore che vuole rendersi conto di quello che fa. Al dilettante quindi del 1931, *che non si contenta di copiare il circuito, sia pure ottimo, riportato dalla rivista, ma vuol rendersi conto dell'uso di ogni componente, dei perfezionamenti che egli può apportare per un miglior rendimento.*

La teoria delle valvole vi è trattata abbastanza diffusamente per ciò che riguarda i fenomeni che in essa si producono e che costituiscono le basi per lo studio delle loro applicazioni. Non sono state trascurate le valvole moderne, le schermate, i pentodi, le valvole alimentate in corrente alternata.

Ho invece omesso alcune valvole specialissime di nessuna o pochissima importanza pratica, almeno per ora.

Le cellule fotoelettriche vi sono trattate diffusamente anche per la parte costruttiva e le loro applicazioni sono state ampiamente illustrate.

Un breve cenno è stato fatto della lampada al neon sopratutto in vista delle recenti applicazioni in televisione.

Se il lavoro raccolto in queste pagine potrà servire al piccolo costruttore per rendere meno empiriche le sue costruzioni, al dilettante per avere chiara la visione dei fenomeni che costituiscono la nuova fisica elettronica ed al tecnico per trovare raccolte in unico volume tutte le nozioni riguardanti le ampolle elettroniche, esso mi avrà compensato largamente.

L'AUTORE.

INDICE

PARTE PRIMA.

LA VALVOLA TERMOIONICA

CAPITOLO I.

La nuova fisica.
Costituzione della materia

È noto che tutti i corpi, qualunque sia il loro stato fisico, diminuiscono di volume se compressi. Questa diminuzione di volume ha portato i fisici a ritenere i corpi costituiti da particelle non a contatto fra di loro cioè a ritenere che fra una particella e l'altra esistono degli *spazi vuoti*. Alla particella materiale più piccola fu dato il nome *molecola* e di essa possiamo avere un'idea dividendo un piccolo frammento di un corpo in due parti e poi ogni metà ancora in due parti e così di seguito fino a quando è teoricamente impossibile continuare la divisione; l'ultima particella così raggiunta è una molecola. Le molecole, per quanto piccole siano, *conservano le proprietà del corpo di cui facevano parte*; vi sono molecole di acqua, di sale, di ferro, ecc.

Ulteriori studi, principalmente di natura chimica, hanno provato che la molecola non è l'ultima particella della materia, ma a sua volta è divisibile ancora in particelle più piccole che però non *conservano più le proprietà caratteristiche del corpo di cui facevano parte*. Così p. es. si è constatato che una molecola di acqua può essere divisa ancora in due particelle, una di idrogeno e una di ossigeno, ecc. A questa nuova particella fu dato il nome di *atomo* (dal greco atomos che significa indivisibile).

In seguito agli ultimi studi di Hittorf, Crookes, Richardson ed altri fisici sui fenomeni elettrici in ambienti privi di

aria, si è dovuto però concludere che anche l'atomo a sua volta non è una particella indivisibile, ma esso è costituito da particelle elementari disposte come in un sistema solare: al centro si trova un nucleo attorno al quale girano su orbite diverse dei corpuscoli ai quali è stato dato il nome di «elettroni». Il nucleo, molto pesante rispetto agli elettroni, è sempre caricato di «elettricità positiva» per un numero di unità positive eguale alla somma degli elettroni che vi gravitano intorno. Ogni elettrone non è altro che una piccola carica elettrica negativa. I nomi di «positivo» e «negativo» dati all'elettricità vogliono indicare che le due specie di elettricità presentano fenomeni inversi così che in un atomo la carica elettrica positiva neutralizza la carica negativa degli elettroni e l'atomo appare scarico di elettricità e allo stato «neutro». Ma esperienze elementari dimostrano che *due cariche elettriche di nome*

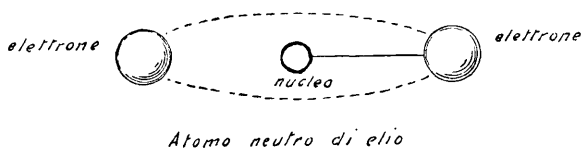



Fig. 1.

contrario hanno la proprietà di attirarsi tra di loro mentre due cariche dello stesso nome hanno la proprietà di repingersi. Ora se gli elettroni fossero fermi rispetto al nucleo verrebbero da esso attratti e dovrebbero precipitarsi verso di esso. Ciò è evitato unicamente per il movimento rotatorio a grande velocità degli elettroni attorno al nucleo stesso; si stabilisce così una forza centrifuga che compensa la forza attrattiva del nucleo.

La distanza tra gli elettroni e il nucleo è enorme rispetto al diametro di tali corpuscoli. Così per es. un atomo di elio è costituito da un nucleo centrale di 4×10^{-13} cm. di diametro attorno al quale ruotano due elettroni alla distanza di 10^{-8} cm. Un atomo è dunque un sistema con vuoti notevoli e ciò spiega, come abbiamo accennato, come può avvenire la diminuzione di volume con la compressione. Se, mutando proporzioni, riteniamo il nucleo grande come una testa di spillo, l'elettrone più vicino dovrebbe, in proporzione, trovarsi a 25 m. dal nucleo stesso. Nel nostro sistema planetario conside-

rando il sole come « nucleo centrale » la distanza tra il pianeta più lontano, Nettuno, e il sole, tenendo conto del diametro di questo, è 14.000 volte più piccola della distanza tra l'elettrone più vicino al suo « sole » cioè al nucleo e il nucleo stesso. In un atomo dunque vi sono dei vuoti immensi eppure la sua grandezza non raggiunge un milionesimo di mm. di diametro.

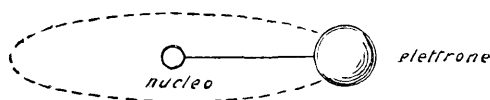
Vediamo come si giunge a questo concetto di elettroni.

Atomo d'idrogeno neutro

Fig. 2.

Si introduca in un'ampolla priva di aria un filo per ogni estremità e ogni filo venga collegato a due placche chiamate *elettrodi*. Gli elettrodi sono connessi ai due poli di una sorgente di alta tensione. Cominciando l'estrazione del gas dall'ampolla si notano, per delle pressioni sempre più piccole di questo gas, i fenomeni seguenti:

1) La pressione è così alta che nessuno scarica si produce attraverso il gas. Delle scintille appariscono in prossimità degli elettrodi.

2) Quando la pressione diminuisce le scintille della scarica si producono sotto forma di larghi pennacchi dando luogo ad una colorazione rosso-violetta.

3) Mano mano che la pressione diminuisce, questi pennacchi di scintille si allargano, diventano sempre più sta-

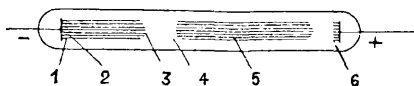



Fig. 3.

bili e quando la pressione non è più che qualche cm. di mercurio essi si trasformano in una scarica luminescente che si estende dall'anodo (elettrodo positivo) al catodo (elettrodo negativo) e nella quale si possono distinguere i colori seguenti (vedi fig. 3):

a) Al catodo un debole chiarore bleu: « *la luminescenza negativa* ».

b) All'anodo un chiarore rosso-bleu: « *la luminescenza positiva* ».

c) Come collegamento tra queste due luminescenze, un chiarore diffuso rosso-violetto: « *la colonna luminosa positiva* ».

4) Se si prosegue ancora nella diminuzione della pressione, la colonna positiva si allarga e raggiunge le pareti di vetro dell'ampolla; nello stesso tempo la luminescenza negativa e quella anodica crescono. Tuttavia tra la colonna positiva e la luminescenza negativa si vede apparire una zona oscura separatrice: « *la zona oscura del Faraday* ».

5) Diminuendo sempre più la pressione, la luminescenza negativa e lo spazio oscuro di Faraday si sviluppano sempre più e tra la luminescenza negativa ed il catodo si scorge un piccolo spazio oscuro che prende il nome dai fisici Hittorf e Crookes che lo hanno studiato in modo particolare. Crescendo questo spazio oscuro del Hittorf a spese della colonna luminosa positiva che si raccorcia man mano, si vede apparire presso il catodo un piccolo chiarore di un bianco-giallo: « *il primo involucro catodico* ».

6) Per delle pressioni ancora più piccole, la colonna luminosa positiva si raccorcia sempre più, mentre si allargano la luminescenza negativa e lo spazio oscuro di Hittorf, il quale, incontrando la parete di vetro dell'ampolla, provoca il fenomeno di fluorescenza proveniente dai raggi catodici.

In generale dunque, se la pressione del gas è sufficientemente piccola e la differenza di tensione fra gli elettrodi sufficientemente elevata, l'ampolla a scarica elettrica presenterà i fenomeni luminescenti seguenti:

1) Primo involucro di chiarore catodico.
2) Spazio oscuro di Hittorf.
3) Luminescenza negativa.
4) Spazio oscuro di Faraday.
5) Colonna luminosa positiva.
6) Luminescenza anodica o eventualmente « spazio oscuro anodico », « involucro di chiarore anodico ».

La colonna luminosa positiva, il cui irradiamento dipende dalle condizioni stesse della scarica cioè dall'intensità di corrente, dalla pressione del gas, dal diametro interno dell'ampolla, dalla qualità del gas, dalla purezza di questo, ecc., è stata applicata come sorgente di luce nella lampada di Moore

e, più recentemente, nei tubi luminescenti al Néon fabbricati da varie officine.

Questi tubi luminescenti al Néon che alla sera tratteggiano coi loro tratti folgoranti l'oscurità delle grandi metropoli, sono, a causa della loro luce rosso-arancio così particolare, ed a causa della loro forma variabile all'infinito ed adattabile ai contorni più vari di lettere, segni, figure qualsiasi, divenuti nell'arte della pubblicità luminosa, un mezzo incomparabile e di alto valore. La luminescenza negativa viene invece applicata nella lampada nota sotto il nome di « lampada al néon » o « lampada glimm » o « veilleuse » o, più recentemente « lampada per televisione ». Rimandiamo all'ultima parte di questo volume la teoria ed i dati costruttivi relativi a tale lampada.

Per pressioni piccolissime (cioè vuoto spinto) si vede l'elettrodo negativo o catodo emettere dei raggi di un rosso violetto che riscaldano la parte della parete di vetro che essi colpiscono e vi provocano dei fenomeni luminosi singolari. Questo fenomeno è chiamato la « fluorescenza » del vetro.

Studiando i raggi emessi in un vuoto elevatissimo dal catodo, i così detti *raggi catodici*, si è constatato che, come i raggi luminosi, essi si propagano in linea retta mentre Crookes mostrò nel 1879 che essi venivano emessi seguendo la superficie normale di una « palla catodica ». Si è constatato anche che i raggi catodici sono deviati dal loro percorso da un campo magnetico e Crookes ha potuto dedurre che questi raggi devono essere costituiti da particelle elettriche caricate negativamente. Ma la natura di queste particelle rimase ancora sconosciuta per lungo tempo. Fu basandosi su una serie di esperienze ingegnose e particolarmente interessanti di Thomson e di Wilson che Rutherford è arrivato alla conclusione che un atomo di qualsiasi elemento può essere comparato a un sistema solare. Il nome di elettrone, per le particelle elettriche negative dei raggi catodici, fu proposto nel 1891 dal Prof. Stoney per indicare l'unità di elettricità naturale cioè la quantità di elettricità che, come è stato previsto dall'elettrolisi, si trova invariabilmente collegata all'atomo di un corpo semplice come l'idrogeno.

Il numero di elettroni in un atomo è diverso per ogni sostanza. Infatti la natura della materia è determinata dal numero di elettroni che si trovano nel suo atomo; le proprietà differenti del rame e dell'argento per es. sono dovute al fatto

che l'atomo di rame ha 29 elettroni e quello di argento ne ha 47.

La massa del nucleo è sempre molto più grande di quella di un elettrone. Così per es. il nucleo atomico dell'elio ha una massa di almeno 7000 volte quella di un elettrone. La maniera colla quale gli elettroni sono raggruppati nell'atomo dipende dal loro numero. Gli elettroni si muovono attorno al nucleo su una o più traiettorie o orbite. Il più gran numero possibile di elettroni su un'orbita è 8. Così per es. gli elettroni che si trovano nell'atomo di ossigeno percorrono una sola orbita.

È possibile che un elettrone abbandoni la sua orbita per raggiungerne una che si trovi più all'interno o più all'esterno: nel primo caso una certa quantità di energia viene irradiata verso l'esterno, per es. sotto forma di raggi luminosi; nel secondo caso dell'energia proveniente dall'estreno viene assorbita dal sistema. Secondo questa teoria per ogni spostamento verso un'orbita interna viene liberata una determinata quantità di energia che sarà la più piccola quantità naturale nella quale l'energia è disponibile: si dice che viene liberato un « quanta » di energia (teoria dei Quanta).

L'elettrone ha un'importanza notevole nell'ampolla elettronica; conviene perciò fermarci un pochino su qualcuna delle sue proprietà. Per studiare queste proprietà è necessario anzitutto formarsi un'idea esatta della natura dell'elettrone. La sua grandezza è tale che esso non sarà mai visibile anche col microscopio più potente; la forma geometrica più semplice che può prendere un corpo è la forma sferica ed è per ciò che si rappresenta l'elettrone come una piccola sfera che si muove a una grande velocità attorno al nucleo atomico. Sembra tuttavia impossibile attribuire all'elettrone una forma determinata o un peso determinato poichè tanto l'una che l'altro dipendono dal suo stato di movimento. Si è trovato che la massa di un elettrone cresce a misura che cresce la velocità ed inoltre essa è, nel senso del movimento, diversa da quella nel senso perpendicolare al primo così che un elettrone ha in realtà due masse distinte.

Se si attribuiscono tuttavia delle dimensioni determinate all'elettrone è unicamente per poter farsi un'idea dei fenomeni nei quali esso ha notevole importanza. *Queste dimensioni sono scelte in modo tale che quando si immagina un elet-*

trone avente la forma di una sfera di raggio determinato, esso possa provocare dei fenomeni identici a quelli che si ottengono realmente. E se noi in seguito parleremo di dimensioni, di masse, ecc. di un elettrone noi intenderemo sempre la dimensione, la massa, ecc. dell'elettrone equivalente che abbiamo così definito.

Abbiamo già accennato al fatto che la massa di un elettrone sembra dipendere dalla sua velocità. In un'ampolla elettronica usata in T.S.F. (valvola termoionica) gli elettroni possono raggiungere una velocità che oltrepassa i 6000 Km. per secondo. Per questa velocità l'aumento apparente della massa non raggiunge che $^1/_{2500}$ del suo valore e perciò può essere trascurato.

La carica elettrica e e la massa m dell'elettrone possono essere determinate col calcolo. Si sono trovati i valori seguenti:

$$e = \frac{1,59}{10^{19}} \text{ coulomb}$$

e

$$m = \frac{9,01}{10^{28}} \text{ grammi}$$

Questa massa è precisamente la $\frac{1}{1845}$ parte della massa dell'elettrone di idrogeno. Questa grandezza permette di determinare il raggio dell'elettrone per il quale si trova un valore di $\frac{2}{10^{13}}$ cm. Questo raggio fittizio dell'elettrone è la 50.000 parte dell'atomo di idrogeno.

Capitolo II.

Azione dell'elettrone

Nello spazio che circonda un corpo caricato elettricamente, quindi anche attorno ad un elettrone, esiste uno stato particolare di tensione che fa sì che una forza viene esercitata sui corpi caricati che si trovano nelle vicinanze. Questa forza è repulsiva se la carica dei due corpi è dello stesso segno e attrattiva nel caso contrario. Due elettroni si respingeranno dunque mutualmente poichè essi sono entrambi caricati negativamente. Poichè non si può immaginare che una tale forza possa stabilirsi senza che esista tra i due corpi un mezzo intermediario che compia la funzione di agente di trasmissione e poichè, d'altra parte, si è logicamente condotti a rigettare l'ipotesi di un'azione a distanza, si è ammessa l'esistenza di una materia ipotetica, l'*etere,* che compie questa funzione. Lo spazio che si trova nello stato di tensione è chiamato *campo* abbiamo quindi un « campo elettrico », un « campo magnetico » e un « campo di gravità ». Lo spazio nel quale l'effetto di un corpo caricato elettricamente si fa sentire è chiamato *campo elettrico.* Questo effetto è in generale tanto più debole quanto più la distanza del corpo caricato è grande. Si dice allora che l'intensità del campo varia da punto a punto. Oltre che dalla sua intensità il campo elettrico è caratterizzato in ogni punto dal suo senso; si chiama senso positivo quello nel quale tende a spostarsi una carica positiva. Se quest'ultima può muoversi liberamente nel campo elettrico essa seguirà sotto l'influenza della forza elettrica una traiettoria determinata, in generale

una curva. A questa curva si dà il nome di *linea di forza* così che tracciando le linee di forza si può farsi un'idea del campo elettrico. In ogni punto del campo passa *una sola* linea di forza poichè il campo non ha che una sola direzione in ogni punto. Se il campo è stabilito da una piccola sfera caricata, come potrebbe essere un elettrone, le linee di forza sono delle linee rette che si diramano in tutte le direzioni a partire dalla superficie sferica.

La nozione di linee di forza fu introdotta in fisica circa 100 anni fa dal grande fisico inglese Faraday. Per lui le linee di forza non erano delle nozioni astratte ma avevano delle proprietà di un significato concreto dal punto di vista fisico. Secondo Faraday le linee di forza si trovano sempre in stato di tensione e tendono a raccorciarsi; esse si respingono mutualmente. Si spiega così perchè un corpo caricato positivamente esercita una forza di attrazione su un corpo caricato negativamente, poichè le linee di forza partenti dal corpo positivo terminano sul corpo negativo ciò che stabilisce un legame elastico che tende a diminuire la distanza tra i due corpi.

Secondo Faraday l'energia elettrica necessaria a stabilire il campo non è concentrata sui corpi, ma essa si trova ripartita nel campo elettrico esistente tra essi, è cioè l'energia potenziale elastica delle linee di forza.

Un elettrone sarà dunque sempre in movimento in un campo elettrico e subirà un'influenza che lo spingerà nella direzione del campo lungo una delle linee di forza. La traiettoria di questo movimento non può essere studiata senza difficoltà che quando le linee di forza sono rette e parallele come è nel caso di un campo elettrico tra due placche piane parallele tra le quali esiste una differenza di potenziale V.

Un elettrone che abbandona la placca negativa per spingersi verso la positiva, sotto l'influenza del campo, acquista una velocità sempre più grande e descrive una linea retta per precipitarsi fino sulla placca positiva.

L'energia dell'elettrone aumenta colla sua velocità. Per una velocità v e una massa m questa energia è uguale a $1/2\, m\, v^2$. Se la velocità iniziale colla quale l'elettrone lascia la placca negativa è v_0, la velocità finale colla quale esso raggiunge la placca positiva è v, la quantità di energia immagazzinata sul percorso dall'elettrone sarà

$$1/2\, m\, v^2 - 1/2\, m\, v_0^2$$

Questo assorbimento di energia si effettua sotto l'influenza della forza elettrica durante lo spostamento. Si sa d'altra parte che l'energia elettrica è il prodotto di una differenza di potenziale per una carica elettrica. Nel caso presente questa carica non è altro che quella portata dall'elettrone. Il lavoro elettrico fornito è dunque eguale a $V \times e$ e questo deve essere eguale al lavoro assorbito per effetto dell'aumento di velocità. Per conseguenza:

$$V \times e = 1/2\, m\, v^2 - 1/2\, m\, v_0^2$$

Questa espressione ci permette di calcolare la velocità che un elettrone acquista sotto l'influenza di una differenza di potenziale data quando la velocità iniziale è conosciuta. In particolare se la velocità iniziale è nulla sarà $V \times e = 1/2\, m\, v^2$ e quindi $v = \sqrt{\frac{2 \times V \times e}{m}}$. Introducendo in quest'ultima formula i valori conosciuti della carica e e della massa m di un elettrone si trova per la velocità in Km. al secondo.

$$v = 600 \times \sqrt{V}$$

Quando la differenza di potenziale tra le due placche è di 100 V. per es. la velocità finale dell'elettrone raggiungente la placca positiva è

$$v = 600 \times 10 = 6000 \text{ Km.}$$

al secondo, ammettendo che la velocità iniziale sia nulla e che l'elettrone non subisca alcuna resistenza durante il suo percorso nel campo elettrico.

Per lo spostamento continuo di un gran numero di elettroni che trasportano dell'elettricità, si stabilisce una *corrente elettrica.* Noi sappiamo già che la corrente elettrica esce da una pila per il polo positivo e vi rientra per il polo negativo dopo aver percorso il circuito esterno. In realtà lo spostamento degli elettroni è inverso. Essi lasciano il polo negativo e rientrano per il polo positivo, ma il fenomeno rimane ancora lo stesso.

Il numero di elettroni necessario per stabilire la corrente di 1 Amper per es. è notevole. Infatti una corrente di 1 A trasporta per un secondo una quantità di elettricità di un Coulomb. La carica di un elettrone è di $\frac{1.59}{10^{19}}$ coulomb così che per il trasporto di 1 coulomb $\frac{10^{19}}{1.59}$ o, in cifra tonda, 6 trilioni di elettroni devono traversare per secondo la sezione del conduttore di corrente.

CAPITOLO III.

Procedimenti per ottenere elettroni liberi

In natura gli elettroni liberi sono rari. Infatti tutti i corpi caricati di elettricità sono attirati da quelli che hanno una carica di segno opposto così che un elettrone libero incontrerà presto o tardi sul suo percorso un corpo caricato positivamente dal quale sarà assorbito.

Poichè il funzionamento delle ampolle elettroniche è interamente basato sulle proprietà degli elettroni che si muovono in gran numero nel vuoto, è della massima importanza conoscere i procedimenti che permettono di liberare gli elettroni. Non basta liberarli dal legame atomico come avviene per es. nei conduttori, ma bisogna anche staccarli dalla materia stessa.

Si farà una distinzione tra la liberazione di elettroni nel gas e quella nei solidi.

La cattiva conducibilità dei gas prova che normalmente vi sono pochissimi elettroni liberi in un gas; la separazione di essi dagli atomi è chiamata *ionizzazione.* Un gas è normalmente pochissimo ionizzato. Quando un elettrone abbandona un atomo gasoso quest'ultimo conserverà necessariamente una carica positiva. Questo resto di atomo è chiamato *ione positivo.*

Per contro se un atomo non caricato assorbe uno o parecchi elettroni esso acquista una carica negativa. Questi atomi portanti un supplemento di elettroni sono chiamati *ioni negativi.*

Quando gli atomi del gas sono ionizzati essi subiranno l'influenza di un campo elettrico: gli ioni positivi saranno attirati dal polo negativo mentre gli ioni negativi e gli elettroni liberi si dirigeranno sul polo positivo. Si stabiliranno allora nel gas due correnti opposte. Questo fenomeno si produce nelle valvole di T.S.F. a vuoto non molto spinto nelle quali le traccie di gas residuo sono ionizzate per l'urto degli elettroni emessi dal filamento. Il bombardamento di un atomo con gli elettroni è uno dei procedimenti per ionizzare un gas e di esso ci occuperemo tralasciando gli altri procedimenti che conducono allo stesso risultato.

Per spiegarci la conducibilità di alcune materie solide è necessario ammettere che è relativamente facile separare gli elettroni dagli atomi nei conduttori. Nasce la questione per quale ragione questi elettroni che si muovono liberamente nel conduttore non sfuggono in grande quantità dalla superficie della materia. Si è osservato che normalmente questo non avviene e si deve per conseguenza ammettere che esistono alla superficie di un conduttore delle forze che impediscono agli elettroni di sfuggire. Le idee moderne sulla costituzione dell'atomo hanno condotto ad ammettere l'esistenza di una *tensione di superficie* che gli elettroni devono vincere. Per fare ciò l'elettrone deve essere animato di una certa velocità che gli permetta di sfuggire: quando questa velocità è inferiore ad un certo limite, differente per ogni materia, l'elettrone non potrà attraversare la superficie.

Un caso assolutamente identico si presenta per i liquidi. Nelle circostanze normali le molecole di acqua per es. non potranno sfuggire dalla superficie del liquido perchè esiste una tensione di superficie che impedisce ciò; ma se l'acqua è riscaldata e le molecole di acqua hanno acquistato una velocità determinata avverrà che una parte di esse sfuggirà sotto forma di vapore.

Anche gli elettroni devono per così dire essere condotti all'evaporazione dalla superficie della materia. La quantità di energia minima che l'elettrone deve possedere per poter sfuggire dalla superficie è chiamata la *costante di evaporazione elettronica.* Più questa è piccola e più è facile separare gli elettroni dalla materia.

Il valore della costante di evaporazione è sempre troppo piccolo per poterselo rappresentare: per il tungsteno per es.

esso è di $7{,}10/10^{16}$ joules. Per caratterizzare il potere emittente di elettroni dei solidi si è introdotta una nuova unità *la tensione che bisogna applicare per dare agli elettroni la velocità esatta necessaria per vincere la tensione di superficie.* Questa tensione *s* è chiamata *affinità elettronica.* La tabella seguente indica l'affinità elettronica per diversi materiali:

Materiali	*Affinità elettronica.*
Tungsteno	4,52
Carbone	4,1
Argento	4,1
Rame	4
Ferro	3,7
Torio	3,4
Alluminio	3
Magnesio	2,7

Per il tungsteno dunque questa tensione è di 4,52 V. Se dunque per il tungsteno la velocità dell'elettrone ha il valore che raggiunge percorrendo una differenza di potenziale di 4,5 V, essendo la sua velocità iniziale zero, l'elettrone è in grado di vincere la tensione di superficie di questo metallo. L'affinità elettronica perciò determina il numero di elettroni che una data materia può fornire a una temperatura determinata. Per le valvole di T.S.F. nelle quali il filamento è il corpo che emette gli elettroni, si sceglierà per il filamento il metallo che possiede la più piccola affinità elettronica e che nello stesso tempo può sopportare le temperature più elevate.

Dalla tabella sopra riportata si dedurebbe che la maggiore emissione elettronica la si avrebbe, in una valvola termoionica, da un catodo di magnesio per es., per il quale per altro sarebbe più rapida la disintegrazione. Ma in un'ampolla elettronica un'altra ragione induce a una scelta diversa: il materiale del filamento deve essere esente da gas e deve potersi rendere tale per evitare appunto il fenomeno della ionizzazione, deve potersi portare ad alte temperature, ecc. come vedremo meglio in seguito. Si è scelto come più indicato il tungsteno, nel quale, qualche volta, si incorpora del torio e, più recentemente, alcuni impasti di ossidi di metalli alcalini o di bario.

I catodi costituiti da un filamento di tungsteno diventa-

no incandescenti: in essi l'emissione avviene dal filamento stesso e si aggira sui 3-4 mA/watt.

I catodi costituiti da un filamento di tungsteno al torio vengono portati al giallo chiaro ed in essi l'emissione avviene dalla superficie esterna particolarmente ricca di torio.

Questa emissione si aggira sui 20-25 mA/watt.

I catodi così detti ad ossidi, sono costituiti da un filamento di tungsteno, nickel o platino iridiato attorno al quale è stato deposto uno strato emittente di ossidi di bario o stronzio. Essi si accendono fino al rosso chiaro e l'emissione raggiunge i 50 mA/watt.

I catodi moderni, così detti al bario, restano scuri. Essi sono costituiti da un filamento di tungsteno sul quale, con uno speciale processo di volatilizzazione, si depone uno strato emittente di ossido di bario. L'emissione raggiunge in questi catodi i 100 mA/watt.

Poichè nelle circostanze normali pochissimi elettroni possiedono l'energia necessaria per vincere la tensione di superficie, questa energia deve essere loro fornita artificialmente ciò che nelle valvole di T.S.F. si fa riscaldando il filamento.

Si sa da molto tempo che un corpo incandescente è in grado di comunicare una carica elettrica ad un corpo che si trova in prossimità. Fu scoperto che un filo metallico portato all'incandescenza comunica una carica positiva ad una placca che si trova in prossimità quando il filo è riscaldato al rosso e che quando la temperatura è spinta a un grado più elevato questa carica trasmessa è negativa.

Gli sperimentatori Elster e Geitel non seppero trovare la spiegazione di questo fenomeno. Edison che fece un passo più avanti in questa via scoprì che introducendo nello spazio della lampada a incandescenza una placca collegata al polo positivo della sorgente di corrente che porta il filamento all'incandescenza, si stabiliva una corrente filamento-placca-polo positivo ma non pervenne a spiegare bene questo fenomeno. Questa corrente è rivelata da una deviazione del galvanometro della fig. 4.

Il carattere reale di questo fenomeno fu scoperto nel 1899 grazie alle ricerche di Thomson e di Richardson, soprattutto per le ricerche di quest'ultimo. Il primo dimostrò che l'effetto, comunemente noto sotto il nome di *effetto Edison*,

è provocato dall'emissione di elettroni del filamento. Quando la placca è collegata al polo positivo della sorgente della corrente di accensione il suo potenziale è più alto di quello del filamento ciò che ha per conseguenza di attirare gli elettroni nel campo elettrico stabilito tra il filamento e la placca; questi elettroni percorrendo il filo di connessione e il galvanometro ritornano verso il filamento. Poichè una corrente elettronica non è altro che una corrente elettrica l'indice del galvanometro devia. Se al contrario si collega la placca al polo negativo della sorgente di accensione il suo potenziale sarà negativo rispetto a tutti i punti del filamento e il campo elettrico tra il filamento e la placca spingerà gli elettroni verso il filamento stesso così che nessuna corrente passerà per il galvanometro. Il grande merito di Richardson consiste nella scoperta delle cause dell'emissione elettronica e delle leggi che la reggono. Nel 1901 egli dimostrò che l'emissione elettronica è dovuta unicamente alla grande velocità che gli elettroni acquistano nei corpi che si trovano allo stato di incandescenza, velocità che permette loro di vincere la tensione di superficie. Egli indicò nello stesso tempo una formula che permette di calcolare il numero di elettroni liberati per secondo e per unità di superficie a una temperatura determinata.

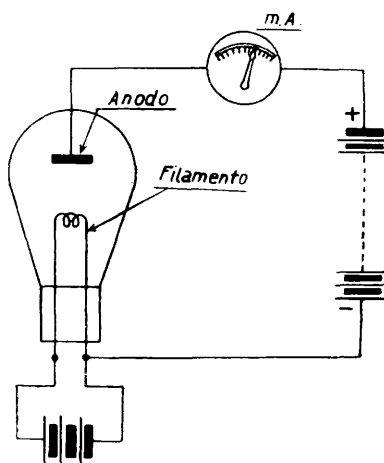



Fig. 4.

Ammettiamo che nel campo elettrico tra il filamento e la placca tutti gli elettroni siano attirati dalla placca, la corrente che si stabilirà allora nello spazio vuoto della valvola avrà il valore massimo che può raggiungere per la temperatura del filamento. Infatti tutti gli elettroni liberati sono allora attirati e anche la sopraelevazione della potenza attrattiva della placca, applicando a questa una tensione positiva più elevata, non permetterà di oltrepassare questa corrente che chiamiamo perciò *corrente di saturazione*: i_s. Solo una temperatura più elevata del filamento permette di aumentare questa corrente.

Nella valvola di T.S.F. la differenza di potenziale tra il filamento e la placca (anodo) è ottenuta a mezzo di una batteria il cui polo positivo è collegato all'anodo e il polo negativo al filamento.

Dalla formula del Richardson che vedremo più avanti si deduce che il valore della *corrente di saturazione* non aumenta che lentamente quando la temperatura è bassa, ma esso si eleva rapidamente a partire da una temperatura determinata.

La fig. 5 mostra come varia per il tungsteno l'emissione del filamento in A per cm.^{2} tra 2200 e 2400° assoluti (0° C equivalgono a 273° assoluti): si è constatato che da 2400° a 2600° assoluti l'emissione progredisce rapidamente.

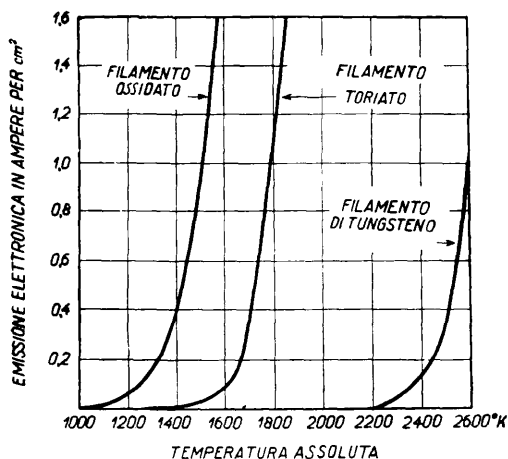



Fig. 5.

La figura mostra anche che una stessa emissione, per es. di 0,4 A per cm^2 è ottenuta dal filo toriato o ossidato a una temperatura molto più bassa che per il tungsteno puro. Da ciò che è stato detto è chiaro che questa differenza è dovuta all'affinità elettronica molto debole del primo filo rispetto al filo di tungsteno.

Calcolo di i_s.

La determinazione di i_s è della massima importanza come vedremo in seguito. Per il calcolo degli elementi costitutivi del triodo un valore troppo grande di i_s vuol dire una maggiore emissione e quindi una più rapida disintegrazione del filamento.

Della massima importanza è anche il proporzionare i_s in funzione degli altri elementi elettrici dell'ampolla.

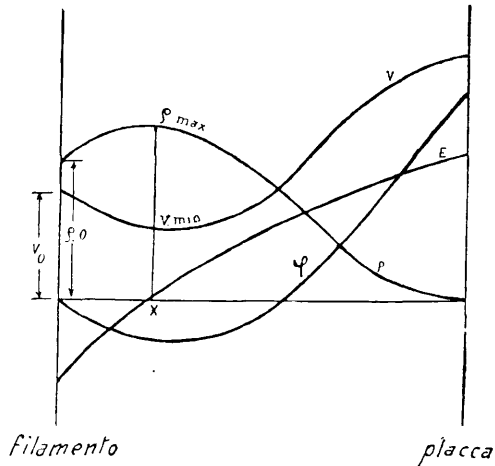
Il Richardson chiama con v_0 la *velocità di efflusso* degli

elettroni del filamento di superficie s_0 e con ς_0 la *densità* che detti elettroni posseggono alla superficie del filamento. Egli considera gli elettroni del filamento come le molecole di un liquido nella massa. Aumentando la temperatura le particelle liquide sfuggono dalla massa, vaporizzano, allo stesso modo come la particelle elettriche, *elettroni*, del filamento sfuggono da questa per effetto della temperatura; e aumentando la temperatura aumenta la *vaporizzazione* fino alla saturazione.

Sia nel caso del liquido che nel caso del filamento incandescente la saturazione dipende dalla temperatura, dalla pressione circostante e dalla natura della massa (densità delle particelle). Il Richardson calcola la densità elettronica ς_0 alla superficie del filamento con la stessa formula usata per la densità del vapore di un liquido svaporante.

Fig. 6.

Immaginiamo che sulla superficie del filamento sia $v_0 = o$ e la densità ς_0 grandissima, ciò che equivale a dire che l'intensità del campo elettrico alla superficie del filamento è nulla.

A rigore gli elettroni non abbandonano il filamento con velocità nulla, ma con una certa velocità che è quella dovuta alla temperatura del filamento. Con piccole tensioni anodiche negative gli elettroni abbandoneranno il catodo con la velocità della temperatura e dopo un breve percorso ad arco di parabola essi vengono, come abbiamo già detto, respinti di nuovo sul catodo. Gli elettroni cioè vengono a formare attorno al filamento una debole *carica spaziale*. Diventando positiva la tensione anodica, gli elettroni vengono sollecitati verso l'anodo, ma alcuni, i più lenti, non riusciranno ad attraversare la carica spaziale esistente attorno al filamento e verranno da questa respinti secondo un arco di parabola sul filamento

stesso; gli altri, i più veloci, raggiungeranno con *moto ritardato* la carica spaziale attorno al filamento, avranno un minimo di velocità e da questo punto, riuscendo ad attraversare la carica spaziale stessa, correranno con moto accellerato verso l'anodo. La figura 6 mostra l'andamento della velocità v, dell'intensità del campo elettrico E, della densità della carica spaziale ς e del potenziale φ nello spazio filamento-placca. Nel punto X la carica spaziale ha la densità massima ς_{max} e in tal punto la velocità degli elettroni uscenti dal filamento è minima.

A sinistra del punto X gli elettroni emessi ulteriormente dal filamento vengono respinti verso quest'ultimo e l'intensità del campo elettrostatico E è negativa; a destra di X gli elettroni che sono riusciti ad attraversare lo strato di carica spaziale si dirigono con moto accelerato verso l'anodo. Ora è evidente la relazione $Is = s_0 \times v_0 \times \varsigma_0$.

Il Richardson parte dalle stesse equazioni di Clausius e Clapeyron per l'evaporazione di liquidi: $\log. \varsigma_0 = \frac{\lambda}{R\ T} + \text{cost}$, ossia:

$$\varsigma_0 = C \times e^{-\frac{\lambda}{R\ T}}$$

dove λ è la grandezza corrispondente al *calore di vaporizzazione* di un liquido e si potrebbe chiamare *calore di vaporizzazione degli elettroni nel metallo del filamento* e dipende dalla natura del filamento.

Ora ricordando che l'energia cinetica media delle particelle evaporanti è proporzionale alla temperatura assoluta T secondo la *costante generale* R: $R\ T = \frac{m\ v_0^2}{2}$ essendo m la massa di inerzia degli elettroni, ne deriva $v_0 = \text{cost} \times \sqrt{T}$ e sostituendo nella formula di I_s si ha:

$$I_s = C \times s_0 \times T^{1/2} \times e^{-\frac{\lambda}{R\ T}}$$

che è la *formula di Richardson*.

Per la costante C furono trovati i seguenti valori:

per il	Carbonio	$C = 10^{34}$
» »	Platino	$C = 7{,}5 \times 10^{25}$
» »	Molibdeno	$C = 5 \times 10^{11}$
» »	Tungsteno	$C = 6{,}74 \times 10^{8}$

La grandezza $\frac{\lambda}{R}$ è costante per ogni filamento e fu dal Richardson stesso chiamata *costante di emissione*. Per essa furono trovati i seguenti valori.

per il Carbonio $\frac{\lambda}{R} = 9,8 \times 10^4$

» » Platino » $= 4,94 \times 10^4$

» » Molibdeno » $= 8,1 \times 10^4$

» » Tungsteno » $= 52,5 \times 10^3$

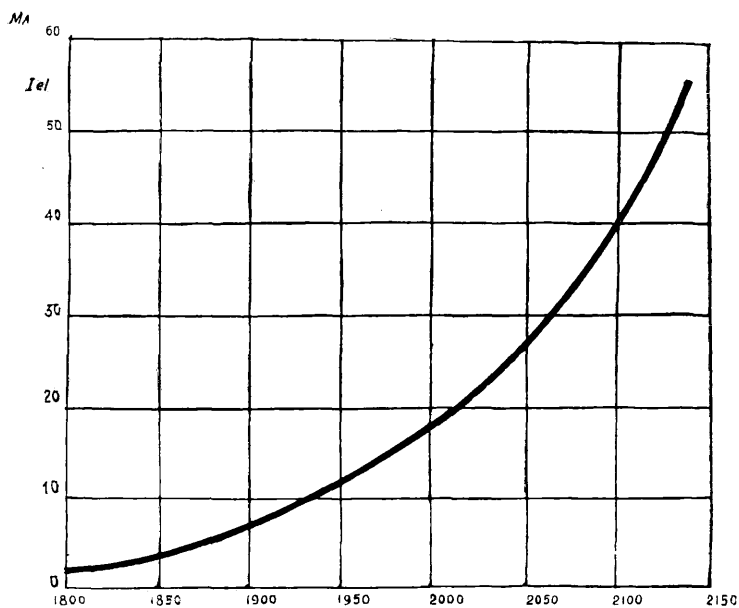



Fig. 7.

È così possibile stabilire dei diagrammi che diano i valori della emissione elettronica in funzione della temperatura assoluta. La fig. 7 si riferisce ad un filamento di tungsteno di 58μ di diametro.

CAPITOLO IV.

La valvola a due elettrodi

Per valvola a due elettrodi o diodo noi intendiamo una ampolla in vetro nella quale si è fatto un vuoto più spinto possibile e che contiene un filamento o catodo ed una placca o anodo. Il filamento può essere portato all'incandescenza a mezzo di una sorgente di corrente. Esso emetterà allora gli elettroni. Tra il filamento e l'anodo è inserita una batteria il cui polo positivo è collegato all'anodo o placca e il polo negativo al filamento; essa prende il nome di batteria anodica. Noi abbiamo ammesso finora che la tensione di questa batteria sia abbastanza elevata perchè tutti gli elettroni emessi dal filamento vengano attirati dall'anodo. Si raggiunge allora la corrente di saturazione la quale non può essere aumentata che portando il filamento a una temperatura più elevata. E adesso parleremo delle proprietà che possiede la valvola a due elettrodi quando la tensione anodica non è abbastanza elevata per attirare tutti gli elettroni così che la corrente anodica resta al di sotto del valore di saturazione.

Queste proprietà sono della massima importanza poichè quando una valvola ha la funzione di amplificatrice o di detectrice si sfruttano le variazioni di corrente provocate dalle variazioni di tensione. Quando il filamento è portato ad una temperatura determinata e la tensione anodica è nulla rispetto al filamento, nessuna corrente anodica potrà stabilirsi. Quando a mezzo di una batteria anodica si stabilisce allora una differenza di potenziale tra la placca e il filamento, prima picco-

lissima in maniera da rendere la placca positiva rispetto al filamento, una parte degli elettroni sotto l'influenza della forza attrattiva della placca raggiungerà questa e una *corrente anodica* verrà a stabilirsi. Il numero di elettroni che raggiungono l'anodo aumenta a misura che la tensione anodica aumenta anche essa e questo aumento continuerà fino a che viene raggiunto il valore di saturazione. Portando in un diagramma i valori della tensione e della corrente anodica che vi corrisponde, si otterrà una curva come quella riportata nella figura 8.

Fig. 8.

Da questo diagramma, relativo ad un filamento di tungsteno, si ricava che quando la temperatura del filamento è di 2300° assoluti la corrente di saturazione oltrepassa i 40 mA ed è raggiunta sotto una tensione anodica di 70 V circa. Portando il filamento a una temperatura più elevata, un più gran numero di elettroni al secondo sarà emesso dal filamento stesso così che sarà ottenuta una corrente di saturazione di valore più elevato. Sotto 2350° assoluti questo valore sarà di 70 mA e sarà ottenuto con una tensione anodica oltrepassante i 100 V; così quando la temperatura del filamento è di 2400° si otterrà una curva indicante un valore di corrente di saturazione molto elevato.

Tra l'estremità del filamento collegata al polo negativo della batteria di accensione e quella collegata al polo positivo si stabilisce una tensione uguale alla tensione della sorgente della corrente di accensione. In generale una differenza di tensione si stabilirà anche tra due punti qualsiasi del filamento. Non è più possibile allora parlare semplicemente della differenza di potenziale tra il filamento e l'anodo. Bisogna indicare qual'è il punto del filamento rispetto al quale questa tensione è misurata.

Noi converremo dunque che questa differenza di poten-

ziale che ci interessa si riferisca sempre all'estremità negativa del filamento.

Sembra strano a prima vista che sotto una tensione anodica debole tutti gli elettroni non partecipino immediatamente alla corrente anodica. In una valvola a vuoto spinto non vi è apparentemente alcuna resistenza da sormontare, perciò sembrerebbe logico che in un campo elettrico, per quanto debole esso sia, tutti gli elettroni disponibili venissero assorbiti dalla placca. Come abbiamo visto invece avviene l'opposto e ciò non può spiegarsi che con la presenza di una resistenza che si oppone al movimento degli elettroni. Lo stesso fenomeno si produce per una corrente che attraversa un conduttore: l'intensità di corrente in questo conduttore è limitata dalla resistenza che deve essere sormontata dagli elettroni in movimento. È per ciò che una differenza di tensione limitata tra le estremità di un conduttore provoca sempre un'intensità di corrente limitata e non un'intensità infinita.

Se nulla nello spazio vuoto dell'ampolla si opponesse allo stabilimento della corrente elettronica, questa dovrebbe immediatamente raggiungere il suo valore di saturazione e non dovrebbe aumentare più progressivamente con la tensione anodica. Questa resistenza che impedisce il rapido stabilirsi della corrente di saturazione è la *repulsione mutua degli elettroni*. È cioè la *carica spaziale* che abbiamo già visto e che è costituita dagli elettroni caricati negativamente che si muovono in masse compatte dal filamento verso la placca. Il meccanismo di questa resistenza è di due specie diverse.

1) essa impedisce ad alcune linee di forza partenti dall'anodo di raggiungere il filamento, ciò che ha per conseguenza che molti elettroni che si trovano più vicini al filamento non subiranno l'influenza della placca.

2) La carica spaziale esercita un'azione repulsiva sugli elettroni emessi dal filamento. Quelli la cui velocità è insufficiente saranno arrestati nel loro movimento ed anche respinti, in parte, sul filamento stesso.

Chiamiamo *resistenza interna* del diodo il rapporto tra una variazione piccolissima di tensione anodica, che indichiamo con de_a, e la corrispondente variazione di corrente anodica di_a.

Questa resistenza che indichiamo con R_i, sarà cioè data da

$$R_i = \frac{de_a}{di_a}$$

L'influenza esercitata dalla carica spaziale sulle relazioni esistenti tra la tensione e la corrente anodica è molto complicata. Non esiste una formula che possa dare un' immagine di questa influenza. Per facilitare il problema si introduce in generale qualche semplificazione. Così Langmuir è riuscito a trovare una formula nel caso in cui l'anodo ha una forma cilindrica e circonda concentricamente il filamento, supponendo che la velocità iniziale degli elettroni v_0 sia nulla; di più egli ha ammesso che tutti i punti della superficie del filamento fossero allo stesso potenziale rispetto alla placca e che la densità ς, degli elettroni su tale superficie fosse infinita.

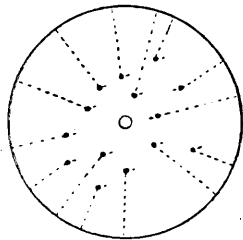



Fig. 9.

Ecco questa formula di Langmuir:

$$i_a = 1{,}465 \times 10^{-5} \times \frac{l}{r} \times \sqrt{v_a{}^3}$$

Dove;

i_a = corrente anodica in mA
l = lunghezza del filamento in mm.
r = raggio dell'anodo in mm.
v_a = tensione anodica in V.

La curva che ci esprime questa formula è quella che si chiama la *caratteristica* della valvola; essa differisce molto da quella trovata sperimentalmente (ved. fig. 8 e fig. 13) e ciò per le ipotesi semplificative ammesse. Noi non ci fermeremo su questo punto.

Rendimento del filamento.

Per *rendimento* s'intende in generale il rapporto della potenza utilizzata alla potenza assorbita. Nel nostro caso possiamo senz'altro applicare questa definizione. Il filamento portato all'incandescenza serve a liberare gli elettroni; più debole è l'energia necessaria a tale scopo e più grande sarà il rendimento del filamento. Questo non è però il solo fattore del quale bisogna

tenere conto nella fabbricazione del filamento; anche la sua durata utile è importantissima.

Il numero degli elettroni che un filamento può fornire dipende:

1) dalla sua superficie;
2) dalla sua temperatura;
3) dalla natura della materia usata.

Supponendo una superficie del filamento determinata, si può scegliere allora una sostanza che possa sopportare delle temperature elevate senza pregiudizio per la durata e avente un potere emittente elettronico elevato. Di più questa sostanza deve poter essere portata e mantenuta ad una temperatura determinata senza richiedere un consumo di energia troppo grande.

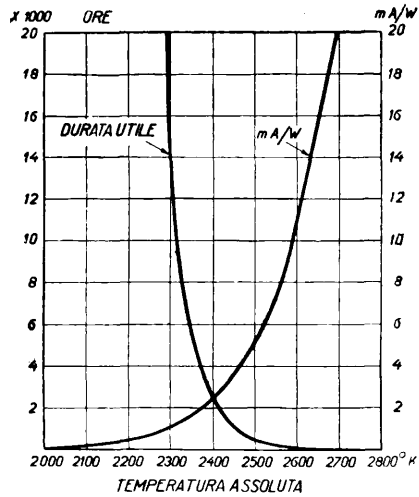
Il consumo di potenza del filamento dipende:

a) dalla sua superficie;
b) dalla sua temperatura;
c) dalla perdita di calore.

Fig. 10.

Tanto l'emissione elettronica quanto la potenza assorbita aumentano per una elevazione della temperatura. L'emissione elettronica aumenta tuttavia molto più rapidamente della potenza e per conseguenza il numero di elettroni liberati per watt aumenta ancora. Il rendimento del filamento aumenta dunque con la temperatura.

L'emissione in mA per watt portata nella fig. 10 sulle ordinate a destra della scala, aumenta rapidamente quando la temperatura del filamento aumenta. Conviene tuttavia tenere conto anche della *durata* del filamento. Perchè questa non si riduca troppo rapidamente, l'emissione in mA per watt non deve oltrepassare un valore determinato che dipende dalla natura del filamento.

La seconda curva della fig. 10 indica il rapporto esistente tra la durata utile e la temperatura del filamento. Questa

curva si riferisce a un filamento di tungsteno caratterizzato dai seguenti dati:

tensione di accensione 4 V
corrente di accensione 0,7 A
corrente di saturazione 10 mA

La potenza assorbita dal filamento è allora 4 × 0,7 = 2,8 watt e l'emissione per watt è dunque di $\frac{10}{2,8} = 3,6$ mA. Si vede che questo valore è raggiunto alla temperatura di 2450° circa per una durata utile di 1000 ore.

Il fattore più importante che influenza il rendimento del filamento è *l'affinità elettronica*. Più questa è ridotta e più grande è il numero di elettroni liberati per una determinata potenza di accensione. La fig. 11 mostra come il valore della corrente di saturazione a una temperatura determinata è influenzato da una differenza di 1 V nell'affinità elettronica. Per il calcolo di questa tabella, stabilita per un caso determinato, si è fatto uso della formula di Richardson. Essa permette anche di farsi una idea dell'aumento del valore della corrente anodica sotto una elevazione di temperatura del filamento.

TEMPERATURA ASSOLUTA DEL FILAMENTO	CORRENTE DI SATURAZIONE IN AMPÈRE PER cm² DI SUPERFICIE EMITTENTE PER UNA AFFINITÀ ELETTRONICA DI			
	2 VOLTS	3 VOLTS	4 VOLTS	5 VOLTS
1000	25×10^{-3}	2×10^{-7}	2×10^{-12}	2×10^{-17}
1500	72	3×10^{-2}	13×10^{-6}	6×10^{-9}
2000	4×10^{3}	12	36×10^{-3}	$1,1 \times 10^{-4}$
2500	$4,6 \times 10^{4}$	43	4,2	4×10^{-2}

Fig. 11.

Per conseguenza, utilizzando per il filamento una sostanza o una lega di sostanze aventi un'affinità elettronica ridotta, si otterà già un'emissione elettronica elevata a temperature basse, dunque con una piccola spesa di energia. Se ne deduce che per una tensione di accensione data, la corrente di accensione è molto più piccola e quindi la resistenza del filamento è più grande. Per un diametro dato il filamento potrà dunque essere più lungo.

Un filamento più lungo dà una *pendenza* più alta della caratteristica, intendendo per *pendenza* della caratteristica del diodo il rapporto tra la variazione di corrente anodica, che

possiamo indicare con di_a e la corrispondente variazione di tensione anodica de_a.

Indicando la pendenza con S si ha: $S = \frac{d\,i_a}{d\,e_a}$.

Ricordando la formula di Langmuir si può anche scrivere, derivando, che

$$S = \frac{d\,i_a}{d\,e_a} = \frac{3}{2} \times 1.465 \times 10^{-5} \times \frac{l}{r}\sqrt{e_a} = \text{costante} \times \frac{l}{r} \times \sqrt{e_a}$$

Cioè *la pendenza cresce con la lunghezza del filamento e con la radice quadrata della tensione anodica ed è inversamente proporzionale al raggio del cilindro anodico* (supponendo l'anodo cilindrico ed il filamento coassiale).

Questo si spiega facilmente poichè per un filamento più lungo la carica spaziale si estende per una lunghezza maggiore ed essa non è più dunque tanto densa come per un filamento corto, così che la forza repulsiva è più debole. Per conseguenza una corrente anodica di valore determinato può essere ottenuta con delle tensioni anodiche più basse che per dei filamenti aventi una lunghezza minore.

Vedremo in seguito quale è l'importanza di una forte *pendenza* della caratteristica.

Le ricerche fatte per arrivare a costruire un filamento

Marca	Tipo di valvola	Tensione di accensione in volt	Corrente di accensione in Ampèr	Potenza di accensione in watt	Corrente di saturazione in *mA*	Potenza elettronica in *mA* per *W* di accensione
Philips	*D* 2	3,5	0,5	1,75	3	1,7
	E	4	0,7	2,80	10	3,5
	A 410	4	0,06	0,24	10	42
	A 409	4	0,06	0,24	20	83
	B 406	4	0,10	0,40	40	100
	B 405	4	0,15	0,60	55	92
	B 403	4	0,15	0,672	70	117
	A 109	1	0,06	0,078	10	128
	B 105	1	0,15	0,195	25	128
Telefunken	*RE* 034	4	0,065	0,26	15	57,6
	RE 054	4	0,06	0,24	5	20,8
	RE 124	4	0,15	0,60	50	83.3
	RE 134	4	0,15	0,60	50	83,3
	RE 304	4	0,30	1,20	100	83,3
Radiotechnique	*R* 36	3,8	0,06	0,23	10	43,4
	R 42	4	0,06	0,24	20	83
	R 76	4	0,08	0,32	30	94

Le valvole Philips D_2 ed E sono valvole a filamento di tungsteno; tutti gli altri tipi sono valvole con catodo speciale a consumo ridotto.

Fig. 12.

con un'affinità elettronica ridotta, quindi con un debole consumo d'energia, hanno portato alla costruzione di filamenti di preparazione speciale come abbiamo già visto.

La figura 12 dà l'emissione in mA per watt di alcune valvole del commercio.

Si vede che i filamenti delle valvole moderne hanno un rendimento molto più elevato di quello delle antiche ampolle a filamento di tungsteno, cioè che l'emissione per watt di accensione è molto più grande che per le ampolle a filamento di tungsteno (tipo E, D_2 Philips).

Applicazioni della valvola a due elettrodi.

Le diverse applicazioni della valvola a due elettrodi, conosciuta sotto il nome di *diodo*, consistono nel raddrizzare la corrente alternata. Per questa ragione noi studieremo da vicino questa funzione del diodo. La fig. 13 rappresenta la caratteristica di una valvola raddrizzatrice.

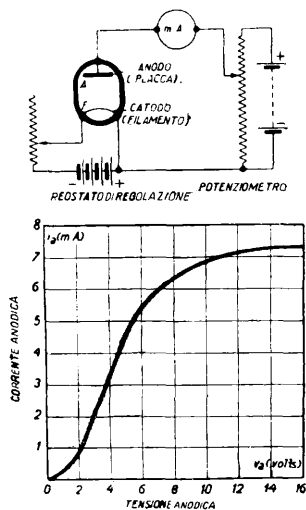



Fig. 13.

Supponiamo che una tensione alternata di 6 V massimi sia applicata tra il filamento e la placca.

L'anodo sarà allora volta a volta positivo e negativo rispetto al filamento. Nel momento in cui l'anodo si trova sotto una tensione positiva di 2 V per es., si vede sulla caratteristica che nella valvola passerà una corrente di 1 mA. Quando questa tensione sale a 4 V l'intensità della corrente è di 3 mA almeno e infine per il valore massimo di 6 V la corrente raggiunge il valore massimo di 5,5 mA. L'anodo è negativo rispetto al filamento durante tutta l'alternanza seguente della corrente, e allora nessuna corrente può attraversare la valvola in questa condizione. Ciò è rappresentato schematicamente dalla figura seguente che mostra chiaramente come una delle alternanze della corrente è soppressa, così che non resta che

una corrente continua pulsante. Si è utilizzata questa proprietà di tali valvole per il raddrizzamento delle correnti alternate.

Un raddrizzatore di corrente è rappresentato schematicamente dalla fig. 15.

Fig. 14.

La valvola raddrizzatrice D è munita di due placche E_1 e E_2. La tensione anodica per queste due placche è ottenuta a mezzo di un trasformatore il cui avvolgimento primario P è collegato alla rete d'illuminazione. Il secondario di questo trasformatore comprende 3 avvolgimenti S_1, S_2 e S_3, l'ultimo dei quali fornisce la corrente di accensione per il filamento G. La placca E_1 riceve la sua tensione anodica dall'avvolgimento S_1; l'avvolgimento S_2 corrisponde alla placca E_2 Il montaggio è tale che quando l'anodo E_1 è positivo rispetto al filamento, l'anodo E_2 è negativo, così che la corrente non può passare che tra i punti G e E_1. La corrente passa da G attraverso E_1, S_1, R, B per traversare in seguito la batteria da caricare e ritornare verso il filamento attraverso C e S_3. La placca E_2 è positiva rispetto al filamento durante l'alternanza seguente e la placca E_1 è allora negativa. Una corrente elettronica si stabilisce allora da G verso E_2 per S_2 e R e traversa egualmente la batteria nello stesso senso dell'alternanza precedente. Le due placche permettono dunque di utilizzare le due alternanze della corrente alternata. L'intensità della corrente di carica è

Fig. 15.

mantenuta ad un valore costante a mezzo della lampada regolatrice *R*.

Se il diodo, invece di essere a vuoto spinto, è riempito di gas inerte, gli elettroni emessi dal filamento provocano la « ionizzazione » di questo gas per l'urto con le molecole gassose, quando la loro velocità è sufficientemente elevata.

Occorre cioè, perchè un elettrone possa ionizzare l'atomo, che la sua energia cinetica sia più grande di un valore determinato.

La ionizzazione di una molecola gassosa è quindi una conseguenza dell'urto tra un elettrone con la velocità sufficientemente grande ed una molecola.

Nel caso del Néon per esempio, l'esperienza dimostra che se si accelera la velocità di un elettrone con un campo elettrico, questo elettrone potrà, dopo aver percorso una differenza di potenziale eguale a 22 volt, avere una velocità sufficiente per ionizzare l'atomo di Néon. Ma se la velocità dell'elettrone è più piccola di quella corrispondente al percorso di una differenza di potenziale di 22 volt, allora l'atomo di Néon non si potrà più ionizzare. Questo voltaggio di 22 volt è il « *potenziale di ionizzazione* »; per l'Elio esso è per esempio di 25 volt e per l'Argon di 16 volt. Si può dunque dire che se si vuole un gas in cui la ionizzazione si produca facilmente, occorre sceglierlo con potenziale di ionizzazione debole.

Quando un elettrone si muove in un gas sotto l'influenza di un campo elettrico, esso « urta » in generale molte volte contro le molecole gassose ed in molti casi esso perde in ogni urto totalmente o parzialmente la velocità acquistata.

E stato dimostrato che i gas monoatomici come l'Elio, il Néon, l'Argon, ecc., ed anche i vapori metallici sono dei gas il cui potenziale di ionizzazione è debole.

Nonostante il loro potenziale di ionizzazione più debole, i vapori metallici non vengono usati, ad eccezione del vapore di mercurio, per ragioni pratiche.

I diodi a riempimento gassoso possono erogare una corrente notevolmente superiore a quelli a vuoto spinto e sono perciò indicati in particolare modo per la ricarica di accumulatori, per galvanolpastica ecc. I diodi a vuoto spinto sono più specialmente usati nelle installazioni di T.S.F. e negli amplificatori di potenza.

Scopo delle « lampade regolatrici » di cui abbiamo fatto

cenno è quello di mantenere costante l'intensità di corrente in un circuito mentre la tensione ai morsetti della lampada varia entro certi limiti. Questa proprietà si ottiene per il fatto che a partire da una data intensità di corrente, la resistenza di queste lampade costituite da un filo di ferro in una atmo-

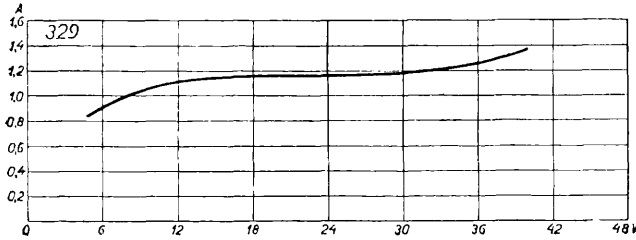



Fig. 16.

sfera di idrogeno, aumenta quasi nella stessa misura che la tensione agli estremi.

Poichè la resistenza della lampada dipende dal riscaldamento del filamento, cioè dalla quantità di calore prodotta, è il *valore efficace* della corrente che è mantenuto costante dalla lampada regolatrice. Questa circostanza è importante per le correnti che differiscono da quella continua uniforme come nei montaggi di raddrizzatori di corrente p. es.

Quando una corrente pulsante passa nella lampada regolatrice, il *valore medio* della corrente raddrizzata, la quale è quella che serve alla ricarica degli accumulatori, differisce

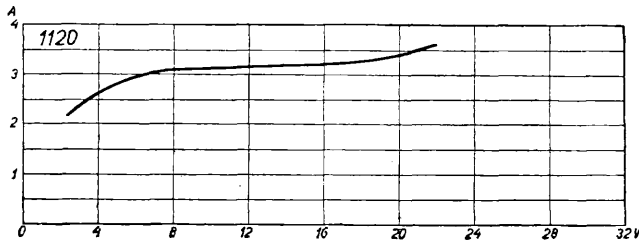



Fig. 17.

sensibilmente dal valore efficace. Fintanto che il rapporto tra questi due valori (fattore di forma) resta costante, la valvola regolatrice manterrà costante egualmente la corrente media.

Le fig. 16 e 17 si riferiscono a due lampade regolatrici

del commercio. Sulle ascisse, asse orizzontale, sono riportati i valori della tensione agli estremi della lampada, mentre sulle ordinate (asse verticale) sono riportati i valori della intensità di corrente.

Nella fig. 16 si vede che variando la tensione da 10 a 30 volt circa, la corrente si mantiene al valore efficace di 1,2 amp. e nella fig. 17 variando la tensione da 6 a 18 volt, la corrente si mantiene sensibilmente al valore costante di 3 amp.

Un'altra applicazione della valvola a due elettrodi è fatta negli alimentatori di placca. La corrente, dopo il raddrizzamento passa per un sistema di filtri costituito in maniera tale che la corrente erogata è assolutamente costante.

Rimandiamo, per tale argomento, al cap. XI di questo volume.

Capitolo V.

La valvola a tre elettrodi

Lo sviluppo meraviglioso della radiotelegrafia e radiotelefonia è il risultato dell'applicazione di un terzo elettrodo in queste valvole ora viste. Questo ha permesso non soltanto di ottenere una ricezione di un'intensità quasi illimitata, ma anche di creare un nuovo metodo di emissione la cui semplicità e perfezione sorpassa tutti quelli conosciuti finora. Noi siamo debitori di questa scoperta a Lee De Forest, che ha applicato un terzo elettrodo tra il filamento e l'anodo, costituito da un filamento avvolto a elica o teso a zig-zag. Per la sua forma questo elettrodo ha ricevuto il nome di « griglia ». Quando si dispone questa griglia nella valvola, senz'altra precauzione, al potenziale zero (connessa al filamento per es.) gli elettroni la traverseranno liberamente e la valvola non avrà acquistato alcuna nuova proprietà. Ma ciò cambia completamente quando la griglia è portata a un certo potenziale come la placca. Si può rendersene conto montando la valvola nella maniera indicata dalla figura seguente (fig. 18).

La batteria anodica vi è connessa come precedentemente tra il filamento F e l'anodo A; un milliamperometro è intercalato nel circuito anodico. Ammettiamo che la tensione anodica sia di 160 V; un'altra batteria è intercalata tra il filamento F e la griglia G così che la tensione di griglia può essere modificata gradualmente a mezzo di un potenziometro. Questa tensione di griglia permette di regolare la corrente anodica tra due limiti. La tensione di griglia può essere misu-

rata a mezzo di un voltometro che non è indicato in figura. La corrente di griglia può essere misurata a mezzo di un milliamperometro intercalato nel circuito di griglia. Gli elettroni provenienti dal filamento e bombardanti la griglia danno luogo a una corrente di griglia, ma la maggior parte di questi elettroni liberi passa attraverso le maglie della griglia stessa e va a costituire la corrente di placca o corrente anodica.

Cominciamo con applicare una tensione negativa alla griglia rispetto al filamento. Aumentando gradualmente questa tensione negativa a mezzo di un potenziometro si constata che il valore della corrente anodica i_a cambia continuamente e diviene sempre più debole. Per una tensione negativa di griglia determinata, 32 V per es. la corrente anodica si annulla. Ne deduciamo che nessun elettrone può più raggiungere l'anodo. Cosa succede allora? Si sa che tutti gli elettroni hanno una carica negativa e che due cariche dello stesso segno si respingono mutualmente. Se dunque si è applicata alla griglia una tensione negativa iniziale ridotta, la griglia respingerà una certa quantità di elettroni dipendente dal valore della tensione negativa. Questi elettroni non partecipano dunque più alla corrente anodica,

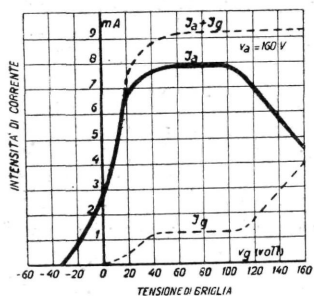
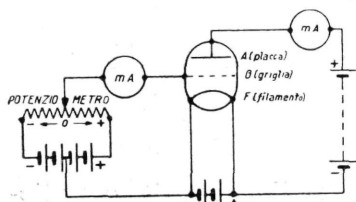



Fig. 18.

così che quest'ultima diminuisce. Ma arriva un momento in cui la tensione negativa di griglia è tanto elevata che tutti gli elettroni emessi dal filamento sono respinti; la corrente anodica è allora nulla. Come si vede dalla curva di fig. 18 che prende il nome di *caratteristica* della valvola a tre elettrodi o « triodo », nell'esempio da noi fatto, questo si produce per una tensione negativa di griglia di 32 V. Questo esempio ci permette di fare una deduzione importante. La tensione anodica era di 160 V ed è chiaro che nel caso presente una tensione di griglia di 32 V è bastata per annullare l'effetto di una tensione anodica cinque volte più grande. Vediamo dunque come deboli tensioni di griglia possono avere sulla corrente

anodica la stessa influenza di tensioni anodiche molto più elevate, ed è su ciò che riposa il principio della funzione amplificatrice della valvola.

Quando si applica alla griglia una polarizzazione positiva rispetto al filamento, la griglia eserciterà sugli elettroni la stessa forza attrattiva della placca e il valore della corrente elettronica aumenterà. Gli elettroni assorbiti dalla griglia danno luogo alla corrente di griglia. Questi elettroni tuttavia sono sempre meno numerosi di quelli che attraversano la griglia e vengono così sotto l'azione attrattiva dell'anodo.

Per tensioni di griglia positive occorre fare una distinzione chiara tra la corrente anodica i_a e la corrente di griglia i_g; quest'ultima aumenta a misura che il valore della polarizzazione positiva della griglia è più elevato e che il numero di elettroni arrestati dalla griglia è più grande. Modificando la tensione anodica, si ottiene un'altra caratteristica ed è per questa ragione che quando si parla della caratteristica di una valvola a tre elettrodi è sempre necessario indicare la tensione anodica sulla quale essa è stata rilevata. Esaminando, per es., la caratteristica di una valvola del commercio (fig. 19), sotto 100 V di tensione anodica, si vede che per una tensione di griglia 0, passa nella valvola una corrente di 17 mA. Sotto una tensione negativa di griglia di 8 V questa corrente non raggiunge più che 8 mA e infine per una tensione negativa di griglia di 17 V la corrente anodica è caduta a 0.

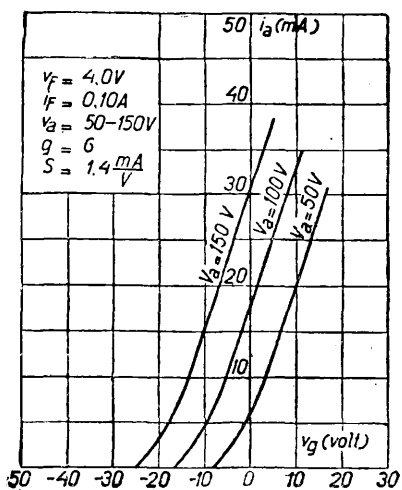



Fig. 19.

La valvola a tre elettrodi compie nell'apparecchio ricevente tre funzioni principali:

1) quella di amplificatrice di A F;
2) quella di detectrice;
3) quella di amplificatrice di B F.

Noi la studieremo dapprima nella sua funzione di ampli-

ficatrice e dopo ricorderemo qualche nozione importante relativa al suo uso come detector.

Vediamo le caratteristiche di una valvola determinata sotto 80 e 100 V (fig. 20).

Ammettiamo che la tensione di griglia sia 0 V e la tensione anodica 80 V, la corrente anodica ha allora, come si vede dalla posizione del punto A, un valore di 1,5 mA. Eleviamo adesso la tensione anodica di 20 V, cioè spingiamola fino a 100 V, la corrente anodica allora aumenta.

Ritorniamo alla corrente anodica iniziale applicando una polarizzazione negativa di griglia di 2 V. La valvola è allora regolata al punto *C* della caratteristica per 100 V di tensione anodica e la corrente anodica è di nuovo di 1,5 mA. Questo ci indica che una variazione di 20 V della tensione anodica è compensata da una variazione di tensione di griglia di 2 V. Il rapporto tra la variazione della tensione anodica e quella della tensione di griglia, che hanno tutte e due sulla corrente anodica una influenza della stessa grandezza ma di segno contrario, si chiama il *coefficiente di amplificazione della valvola*. Nel caso del nostro esempio è di 20 : 2 = 10. Questo coefficiente è chiamato così perchè esso si riferisce all'amplificazione più forte che la valvola permette di raggiungere.

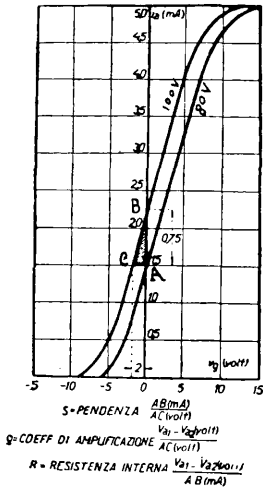



Fig. 20.

Influenza della griglia.

Vediamo ora quale influenza ha, sulla corrente anodica e su questo coefficiente di amplificazione la disposizione e la forma pratica della griglia. Vedremo più avanti come la mutua posizione degli elettrodi nell'ampolla, influenzi le caratteristiche di funzionamento.

Se la griglia è a maglie molto strette, l'influenza della tensione di placca sulla emissione elettronica del filamento sarà piccola perchè poche saranno le linee di forza che potranno,

attraverso le maglie di griglia, raggiungere il filamento. E cioè piccola la « percentuale » di linee di forza uscenti dalla placca e che riescono a raggiungere il filamento. In questo caso mentre la tensione di griglia agisce totalmente sul filamento, la tensione di placca vi agisce solo per un $D\%$ di linee di forza. Ciò si può esprimere anche dicendo che mentre piccole variazioni di tensione di griglia, hanno grande influenza sull'emissione, le variazioni della tensione anodica avranno un'influenza D volte minore.

Appare allora chiara la relazione tra questa grandezza D ed il coefficente di amplificazione della valvola che indicheremo con K.

Se le maglie di griglia sono molto strette (D molto piccolo), il coefficiente di amplificazione sarà molto grande e viceversa. Le grandezze D e K variano in ragione inversa, ma esprimono lo stesso fenomeno. Noi scriveremo precisamente

$$D = \frac{1}{K}$$

e diamo a D il nome di « *coefficiente di attraversamento* » o « *intraeffetto* ».

Se D è molto piccolo da potersi considerare zero, tanto da ritenere nulla l'azione della placca sulla emissione del filamento, allora noi possiamo ritenere che questa emissione sia dovuta soltanto alla tensione di griglia v_g ossia possiamo assimilare il triodo ad un diodo e scrivere l'equazione di Langmuir già nota:

$$i_g = 1.465 \times 10^{-5} \times \frac{l}{r} \times \sqrt{v_g^3}$$

dove in tal caso la corrente di emissione è soltanto quella di griglia i_g e r è il raggio del cilindro di griglia.

Ma per un certo valore di D diverso da zero, la placca agisce sul filamento con Dv_a linee di forza così che l'emissione totale dipenderà da v_g e da Dv_a ossia dalla « *tensione risultante* »

$$v_r = v_g + Dv_a$$

e non sarà più soltanto corrente di griglia, ma corrente di griglia e corrente di placca

$$i_e = i_g + i_a$$

e la formula di Langmuir si potrà scrivere:

$$i_e = 1.465 \times 10^{-5} \times \frac{l}{r} \times \sqrt{(v_g + Dv_a)^3}$$

dove r in tal caso è il raggio del cilindro di griglia sulla quale si suppone concentrata la tensione risultante v_r.

Per formarci un concetto più chiaro del coefficiente D, basterà pensare che esso ci dice quale influenza ha sul filamento la tensione di placca ossia quale è il campo elettrostatico placca-filamento, in rapporto al campo elettrostatico griglia-filamento.

Così che se chiamiamo C_{pf} la capacità tra placca e filamento e C_{gf} la capacità tra griglia e filamento, possiamo scrivere:

$$D = \frac{C_{pf}}{C_{gf}}$$

Se noi aumentiamo la tensione di placca v_a, le curve di figg. 19 e 20 ci dicono che la caratteristica della valvola si sposta parallelamente a sè stessa verso sinistra. Poichè sulla emissione elettronica la placca influisce col termine $D \cdot v_a$, se la tensione di placca varia di una certa quantità $d\, v_a$, la caratteristica della emissione si sposta verso sinistra della quantità $D \times d\, v_a$. Questo ci permette di tracciare le caratteristiche per varie tensioni anodiche, una volta nota la caratteristica per un valore di tensione anodica e noto il valore di D. Per v_a inferiore a 40 volt, la caratteristica non si sposta più parallelamente a sè stessa, ma presenta una « pendenza » minore.

Nella fig. 20

$$CA = D \times d\, v_a = D \times (100\text{-}80) = 20 \times D$$

e poichè abbiamo detto che $CA = 2$ risulta

$$20 \times D = 2 \qquad \text{ossia} \qquad D = \frac{1}{10}$$

e quindi

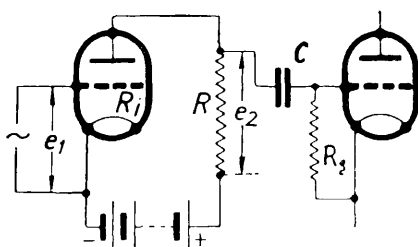
$$K = \frac{1}{D} = 10$$

Il coefficiente di amplificazione della valvola che ha le caratteristiche della fig. 20 è 10.

Ma non bisogna confondere questo coefficiente di amplificazione con quello che si può avere praticamente dalla valvola montata in uno stadio di amplificazione.

Una resistenza R è intercalata nel circuito anodico della valvola e noi ammettiamo inoltre che una tensione alternata e_1 regni tra la griglia e il filamento della valvola. Questa tensione può essere indotta dall'antenna per es. La corrente alternata che si produce nel circuito anodico in seguito alla tensione alternata e_1 sulla griglia, produce agli estremi della resistenza R una differenza di potenziale che chiamiamo e_2. Questa differenza di potenziale può essere calcolata quando si conosce l'intensità della corrente anodica alternata. Questa corrente percorre due resistenze collegate in serie e cioè la resistenza interna R_i della valvola e la resistenza del circuito anodico.

Fig. 21.

Per resistenza interna del triodo intendiamo, come per il caso del diodo, il rapporto tra una variazione piccolissima di tensione di placca, dv_a e la corrispondente variazione della corrente di placca $d\,i_a$ quando la tensione di griglia rimane costante:

$$R_i = \frac{d\,v_a}{d\,i_a}$$

La resistenza totale è uguale a $R_i + R$. Abbiamo visto da ciò che precede che una tensione alternata e_1 sulla griglia produce lo stesso effetto di una variazione di una tensione anodica $K \times e_1$ nel circuito anodico, essendo K il coefficiente di amplificazione della valvola. L'intensità della corrente alternata che percorre la resistenza R è data allora dalla legge di Ohm:

$$i = \frac{K \times e_1}{R_i + R}$$

La tensione che si produce agli estremi della resistenza R è, sempre per la legge di Ohm, eguale al prodotto della corrente per la resistenza, dunque:

$$e_2 = R \times i = K \times e_1 \times \frac{R}{R_i + R}$$

o

$$e_2 = K \times e_1 \times \frac{1}{\frac{R_i}{R} + 1}$$

Quest'ultima espressione è massima quando il denominatore è più piccolo possibile, cioè quando la resistenza R è la più grande possibile. Nel caso dunque di una resistenza R infinitamente grande, $\frac{R_i}{R} = o$ e l'espressione diventa

$$e_2 = K \times e_1$$

Sembra dunque che in questo caso limite, la tensione e_2 che si produce agli estremi della resistenza R sia eguale a K volte la tensione iniziale tra la griglia e il filamento. Questa tensione e_2 può a sua volta essere trasmessa alla griglia della valvola seguente dove può essere amplificata una nuova volta.

È impossibile dare alla resitenza R un valore infinitamente grande, e non è dunque possibile ottenere con una sola valvola un'amplificazione che abbia il valore del coefficiente di amplificazione della valvola. Prendiamo per es. una valvola del commercio, la valvola Philips A 425 per l'amplificazione a resistenza. Il coefficiente di amplificazione di questa valvola è 25; il valore della resistenza interna è di 50.000 ohm e supponiamo che la resistenza R abbia un valore di 200.000 ohm. Praticamente si ottiene allora un'amplificazione per stadio di

$$e_2 = 25 \times e_1 \times \frac{200.000}{200.000 + 50.000}$$

ossia

$$e_2 = 20 \times e_1$$

Si realizza dunque per stadio un'amplificazione di 20.

Se $R = R_i$ si ha l'amplificazione per stadio $K_{st} = \frac{e_2}{e_1} =$
$= \frac{1}{2} K.$

Nella fig. 21 il condensatore di blocco C ha lo scopo di impedire che la tensione anodica della batteria di placca,

passi alla griglia della seconda valvola e la resistenza R_g detta « *resistenza di fuga* » o di « *dispersione* » di valore molto elevato (fino a 4 ÷ 5 $M\ \Omega$) inserita tra la griglia ed il catodo della valvola V_2 ha lo scopo di derivare le cariche elettrostatiche della griglia e di dare a questa una tensione media di polarizzazione di 1 a 1.5 volt sopra il potenziale del catodo (valvola detectrice).

Il condensatore C deve essere abbastanza grande per permettere il passaggio delle oscillazioni di alta frequenza. La resistenza R_g non deve essere superiore alla *resistenza di isolamento* del condensatore C.

La nozione con la quale bisognerà familiarizzarsi adesso è quella di *pendenza* delle caratteristiche cioè il rapporto $\frac{A\,B}{A\,C}$ rappresentato dalla figura 20.

AB rappresenta un certo numero di mA e AC una tensione di griglia di un certo numero di V. La pendenza è dunque rappresentata in mA per V. Così nell'esempio dato si nota che una variazione della tensione di griglia di 2 V corrisponde a una variazione di corrente anodica di 0,75 mA. La variazione della corrente anodica raggiunge dunque per ogni V di variazione di tensione di griglia $\frac{0{,}75}{2} = 0{,}375$ mA per V. e la pendenza della valvola è dunque di 0,375 mA/V. In ciò che segue vedremo che per le valvole amplificatrici e sopratutto per la valvola di uscita è importante realizzare una forte pendenza, cioè è importante che una piccola variazione della tensione di griglia produca un notevole cambiamento nella corrente anodica.

Se si pensa al funzionamento del triodo, appare chiaro come questa pendenza sarà tanto più grande quanto più grande sarà l'influenza della tensione di griglia sull'emissione e cioè quanto più strette saranno le maglie di essa griglia e quindi quanto più piccolo sarà D (o anche quanto più grande sarà K). La pendenza S del triodo varia dunque in ragione inversa di D.

Consideriamo ora la resistenza interna del triodo R_i. Essa è infinita quando l'emissione è zero (nell'ampolla vi è allora il vuoto più spinto) e andrà diminuendo con l'aumentare dell'emissione (per una data tensione di griglia) ossia con l'aumen-

tare della pendenza S. Le due grandezze S ed R_i variano perciò in senso inverso e quindi il loro prodotto è costante. Esso è precisamente eguale a $\frac{1}{D}$:

$$S \times R_i = \frac{1}{D} = K$$

o anche

$$S \times R_i \times D = 1$$

Questa espressione, trovata dal Barkhausen è nota sotto il nome di *equazione interna del triodo*.

CAPITOLO VI.

Il triodo usato come amplificatore di bassa frequenza

Lo scopo dell'amplificazione di bassa frequenza è quello di amplificare i segnali già raddrizzati dal detector per renderli udibili in altoparlante. Se si tratta della ricezione di musica è necessario sopratutto che l'amplificazione non provochi alcuna distorsione. I suoni vocali e musicali si compongono in generale di una nota fondamentale alla quale si sovrappone un numero più o meno grande di *armoniche* la cui intensità è variabile. Il numero e l'ampiezza relativa delle armoniche determina il *timbro* del suono. Affinchè il rapporto tra i diversi suoni resti invariato occorre che essi siano tutti amplificati nella stessa misura altrimenti il timbro verrà modificato. L'amplificatore di bassa frequenza deve dunque essere capace di amplificare uniformemente tutte le frequenze udibili interessate, cioè tutte le frequenze tra 50 e 10.000 periodi al secondo.

Quando ciò non avviene l'amplificazione è *deformata.*

La deformazione nell'amplificatore di bassa frequenza può provenire dall'uso di valvole inadatte o da una cattiva regolazione o ancora da accoppiamenti parassiti esistenti tra le diverse parti dell'amplificatore di bassa frequenza. Noi non parleremo qui che della valvola soltanto.

Tra la griglia e il filamento della prima valvola amplificatrice di bassa frequenza agisce una tensione variabile che provoca delle variazioni di corrente anodica nella valvola. Se queste variazioni di corrente anodica sono l'immagine fedele delle variazioni della tensione di griglia, non si avranno deformazioni. Questo avverrà quando la parte utilizzata

dalla caratteristica della valvola è rettilinea. Un esempio di questo caso è rappresentato nella figura 22.

Fig. 22.

Si vede in questo esempio che la forma delle variazioni della corrente anodica è infatti completamente identica a quella delle variazioni della tensione di griglia. Questo cessa di avvenire quando le tensioni di griglia sono in una regione dove la caratteristica non è rettilinea, ed è ciò che rappresenta la fig. 23, nella quale le variazioni di tensione di griglia provocano delle variazioni di corrente anodica che in parte coprono la parte curva della caratteristica, così che la forma della corrente anodica differisce da quella della tensione di griglia

Fig. 23.

Per ottenere una amplificazione pura non è sufficiente tuttavia limitare il funzionamento alla parte rettilinea della caratteristica. Questa parte deve inoltre essere situata interamente nella regione delle tensioni negative di griglia, così che le fluttuazioni della tensione di griglia non possono mai comunicare alla griglia stessa una tensione

positiva durante il funzionamento. Infatti abbiamo già visto che quando la grglia diventa positiva una parte della corrente elettronica scorre nel circuito di griglia. Quando l'amplificatore è a trasformatori, questi funzioneranno a vuoto fintanto che la griglia è negativa e non vi è perciò corrente. Al contrario essi funzioneranno in carico appena la griglia è portata a un potenziale positivo. Questo funzionamento alternativamente a vuoto e in carico provoca una deformazione notevole che deve essere evitata a qualunque costo. Si può arrivare a ciò con l'applicazione di una polarizzazione negativa di griglia rispetto al filamento a mezzo di una batteria di pile (fig. 24).

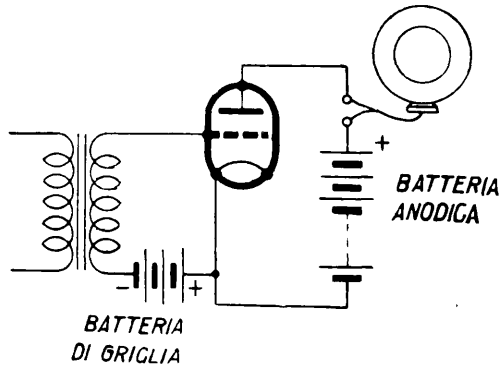



Fig. 24.

Se la tensione alternata di griglia è di 5 V massimi per es., senza polarizzazione negativa la griglia sarebbe portata volta a volta a una tensione positiva di 5 V e a una tensione negativa dello stesso valore. Se al contrario la griglia è mantenuta artificialmente a una tensione negativa di 6 V rispetto al filamento, le variazioni di tensione di griglia di 5 V avranno per conseguenza che la tensione di griglia varierà tra $6 + 5 = 11$ V negativi e $6 - 5 = 1$ V negativo. La griglia resta dunque sempre negativa e la corrente di griglia non può avere luogo. Le tensioni alternate di griglia indotte sulla griglia della valvola di uscita hanno un valore elevatissimo; nella ricezione in altoparlante possono oltrepassare i 15 V. Sopratutto con gli altoparlanti moderni molto sensibili, una distorsione provocata dalle correnti di griglia si manifesta rapidamente. Per evitare questa distorsione bisogna intercalare tra la gri-

glia e il filamento della valvola di uscita una batteria di tensione di griglia di 15 V almeno.

Per ciò che riguarda il punto sul quale la valvola deve essere regolata, questo deve essere situato nella parte rettilinea della caratteristica. Esaminiamo per es. la caratteristica della valvola rappresentata dalla figura 19 (pag. 39).

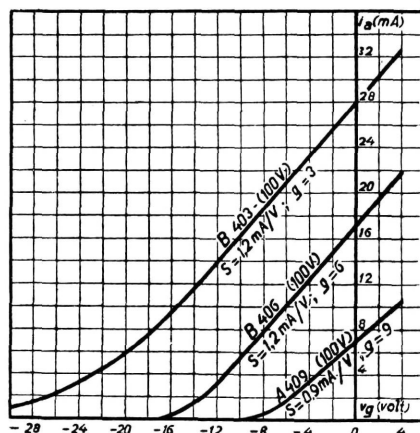
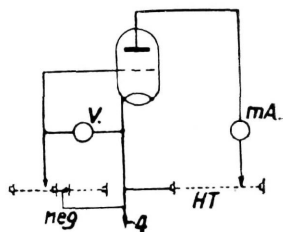



Fig. 25.

Per una tensione anodica di 100 V la corrente anodica cade già a 0 con una tensione negativa di griglia di 17 V. Quando per questa tensione anodica noi applichiamo alla griglia una tensione di 15 V, noi regoliamo questa valvola a un punto che si trova nella parte bassa della caratteristica e non nel punto di mezzo come è più conveniente. Spingendo la tensione anodica fino a 150 V per es., si ottiene uno spostamento della caratteristica verso sinistra, ma anche allora lo spazio disponibile non è sufficiente per delle tensioni alternative di griglia così elevate. In questo caso bisogna dunque ricorrere ad una valvola di altro tipo per la quale, come appare dalla caratteristica (fig. 25), le tensioni alternative di griglia possono raggiungere 15 V e oltre senza sovraccaricare la valvola stessa (B 403 p. es.). Occorre però intendersi su tali valori. Le caratteristiche ora viste sono quelle che si ricavano effettuando la misura della corrente anodica i_a in funzione della tensione di griglia v_g e per un dato valore della tensione anodica v_a a mezzo di una disposizione come quella riportata in fig. 26.

Fig. 26.

Il solo valore ricavabile immediatamente da queste curve è la pendenza statica S (figura 27), che è data dalla variazione di i_a corrispondente a 1 volt di variazione della tensione di griglia.

Col calcolo si possono anche dedurre il coefficiente di amplificazione K e la resistenza R_i.

Questa caratteristica non serve a grandi cose; essa infatti non dovrebbe servire ad altro che a indicare al dilettante la giusta tensione di polarizzazione di griglia. Ma applicando alla griglia la tensione di polarizzazione consigliata dal costruttore egli constata che la valvola lavora non lontano dal ginocchio inferiore della caratteristica; d'altra parte si insiste continuamente sulla nozione che la polarizzazione deve essere tale che il punto di funzionamento sia il punto di mezzo della parte rettilinea della caratteristica a sinistra dell'ordinata 0.

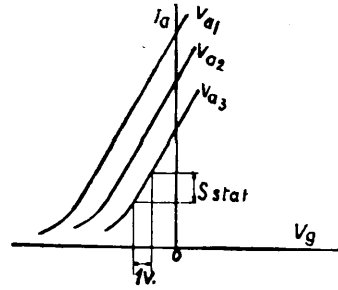



Fig. 27,

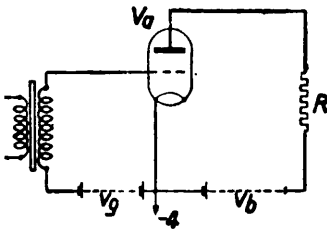
Segue da ciò che alla valvola viene quasi sempre applicata sulla griglia una tensione di polarizzazione sbagliata, generalmente troppo debole.

Per ovviare a queste diverse cause di errore è più utile tracciare la caratteristica $I_a = f(V_a)$.

Consideriamo da una parte una valvola inserita normalmente con un trasformatore di accoppiamento nel circuito di griglia e un altoparlante nel circuito di placca (figura 28) e d'altra parte la curva statica I_a in funzione di V_g (figura 29).

L'altoparlante è, per semplicità, assimilato a una resistenza ohmica R. La griglia è negativa a un valore — V_g mentre che la tensione di placca V_a è eguale alla tensione della batteria o sorgente di alta tensione meno la caduta di tensione nella resistenza R causata dalla corrente anodica permanente o corrente di riposo Ia_0 (corrente anodica per tensione di griglia eguale a zero): $V_a = V_b - R \times Ia_0$.

Fig. 28.

Supponiamo che una f. e. m. alternata di valore massimo e sia applicata, a mezzo del trasformatore, alla griglia. La semionda positiva $a\ b$ aumenta V_g e quindi anche Ia_0 che diventa I_x.

La tensione anodica V_a diventa invece $V_b - R \times I_x$, quindi diminuisce.

Ma a questo nuovo valore corrisponde una nuova caratteristica che porta la corrente anodica a un valore minore I_a. Lo stesso fenomeno si produce per la semi alternanza negativa *cd*. In tal caso Ia_o diventa I_y e la tensione di placca V_a diventa $V_b - R \times I_y$; la corrente anodica corrispondente al punto di tensione di griglia *d* è I_b.

I valori I_x e I_y sono dei valori che noi chiameremo « *statici* », mentre I_a e I_b sono dei valori « *dinamici* ».

L'effetto studiato si riassume in altri termini in un « freno » delle variazioni di corrente anodica dovute alle variazioni della tensione di placca, cioè in una diminuzione della pendenza S.

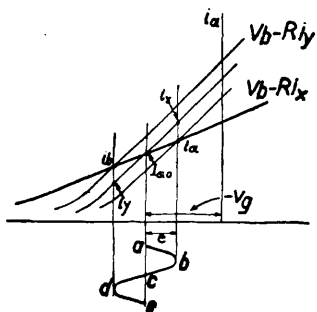



Fig. 29.

Riunendo i punti I_b, Ia_o, I_a si ottiene la caratteristica dinamica della valvola dalla quale possiamo ricavare il valore reale della pendenza in funzionamento, cioè la S *dinamica*.

Noi constatiamo che la S dinamica è più piccola della S statica, ed inoltre che la *parte rettilinea* della caratteristica è più lunga; è per questo ultimo motivo che *si deve* polarizzare la griglia ad un valore che a priori sembra errato.

Notiamo qui che l'assimilazione di un altoparlante a una resistenza ohmica è una causa di errore, poichè un circuito che presenta della induttanza provoca un funzionamento non sulla parte rettilinea di caratteristica $I_b - I_a$, ma su un'ellisse il cui asse maggiore coincide con questa parte.

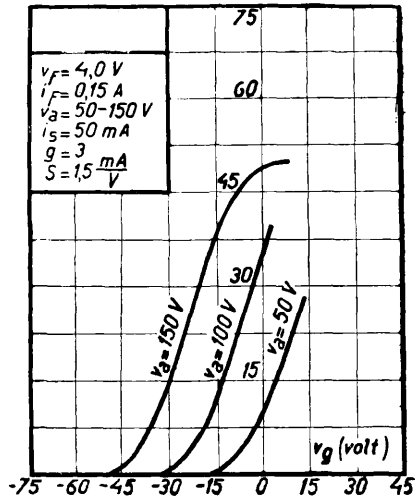
Tuttavia il nostro ragionamento precedente permette di renderci conto in maniera relativamente chiara della diminuzione di S.

Nel caso di una valvola di uscita, come nel caso di una valvola amplificatrice di alta o di bassa frequenza, la diminuzione di S, e per conseguenza del coefficiente di amplificazione K ($K = S \times R_i$), è un fenomeno che si può considerare come « nocivo ». Tutti i nostri sforzi debbono dunque tendere alla costruzione di una valvola dai valori dinamici eguali ai valori statici.

Vedremo, parlando dei pentodi a quali artifici si ricorre per ottenere questo scopo.

Se una valvola simile deve trasmettere una grande energia all'altoparlante, le variazioni della corrente anodica prodotte da quelle della tensione di griglia devono essere anche più forti possibili affinchè una corrente alternata più potente possibile sia trasmessa all'altoparlante. Questo esige una forte pendenza della caratteristica della valvola. Le valvola la cui caratteristica è rappresentata in fig. 30, avente una pendenza di 1,4 mA/V soddisfa abbastanza bene a queste condizioni (1).

Per terminare il nostro studio delle valvole amplificatrici di B. F., ricerchiamo ancora in quale maniera si può ottenere, sulle caratteristiche, un grande spazio di griglia. Dalla definizione del coefficiente di amplificazione risulta che il punto della caratteristica per il quale la corrente anodica si riduce a zero, cioè a dire il punto in cui la caratteristica finisce, si determina dividendo la tensione anodica per il coefficiente di amplificazione. Per la valvola le cui caratteristiche sono riportate nella fig. 30 si può così trovare il punto di partenza della caratteristica per 150 V di tensione anodica dividendo 150 per 3 (150 : 3 = 50 V).

Fig. 30.

Per una tensione negativa di griglia di 50 V la corrente anodica comincia a circolare sotto 150 V di tensione anodica.

Questi 50 V rappresentano lo spazio nel quale la tensione di griglia può variare. Da ciò che precede risulta che lo spazio di griglia aumenta con la tensione anodica ed a misura che il coefficiente di amplificazione è più piccolo. Non si può spingere senza inconvenienti pratici la tensione anodica al di sopra di 120 a 150 V. Per costruire una buona valvola di uscita avente

(1) Esistono ora valvole con pendenza di sei e più *mA/v*.

un grande spazio di griglia, cioè una valvola di uscita che possa adattarsi a forti variazioni della tensione di griglia, è dunque necessario realizzare una valvola avente un debole coefficiente di amplificazione. Questa considerazione ha indotto a costruire, accanto a valvole con coefficiente di amplificazione di 6 e di 5, anche tipi di valvole di uscita con coefficiente di amplificazione 3.

Calcolo della potenza di uscita.

Prima di chiudere questo argomento della B.F., vediamo come si calcola la potenza di uscita di una valvola finale. La fig. 31 si riferisce ad una valvola finale sul cui circuito anodico va inserita la resistenza R_a che, per ora, supponiamo puramente ohmica.

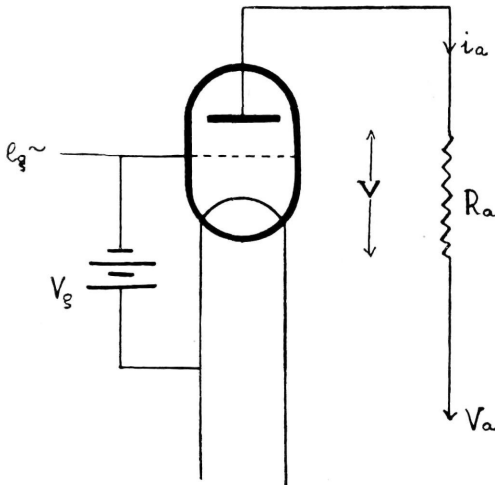



Fig. 31.

Nella fig. 32 immaginiamo sia $A\,B$ la caratteristica statica della valvola resa tutta rettilinea (in realtà essa presenta, come sappiamo, un ginocchio inferiore sul quale le variazioni di tensione di griglia non debbono giungere per evitare distorsioni. Il punto B è ottenuto allora prolungando il tratto rettilineo della caratteristica stessa). Sia $E\,D$ la polarizzazione di griglia

$$v_g = E\,D$$

Immaginiamo per un momento di scegliere questa polarizzazione in maniera che il punto C sia il punto medio del tratto rettilineo di caratteristica $A\,B$, ossia D sia il punto medio di $B\,E$ e quindi

$$E\,D = v_g = \frac{1}{2}\,\frac{v_a}{K}$$

Poichè, come è noto $B\,E = \dfrac{v_a}{K}$ (In realtà $\dfrac{v_a}{K}$ è il tratto

compreso fra il punto E e la fine del ginocchio inferiore della caratteristica, ossia il tratto $E\ B$ della fig. 33). In tal caso le oscillazioni massime ammissibili, per e_g, saranno di

$$e_g = 2\ v_g = \frac{v_a}{K}$$

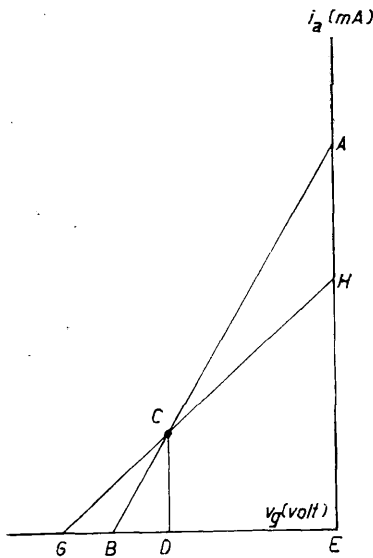
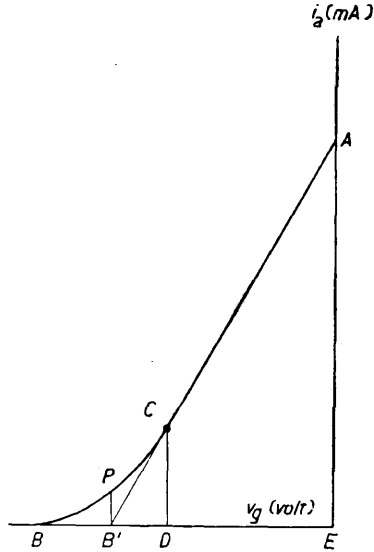



Fig. 32. Fig. 33.

Questo caso però è teorico perchè:

a) la curva pratica non è rettilinea, ma presenta un ginocchio inferiore;

b) in funzionamento la curva caratteristica non è quella statica $A\ B$, ma quella dinamica $H\ G$.

Rimanendo nel caso teorico della caratteristica statica abbiamo, per la legge di ohm, il valore massimo di i_a nel circuito anodico, dato dal rapporto fra la tensione alternata anodica e la resistenza totale ossia

$$i_{a\ max} = \frac{K\ e_g}{R_i + R_a}$$

dove $K\ .\ e_g$ è la tensione anodica alternata dovuta ad una oscillazione e_g sulla griglia ed R_i la resistenza interna della valvola. Sarà $i_{a\ eff} = \dfrac{K\ .\ e_g}{\sqrt{2}\,(R_i + R_a)}$.

La potenza di uscita o potenza utile della valvola è quella dissipata nella resistenza R_a (altoparlante) che abbiamo supposta puramente ohmica, essa sarà perciò

$$W_u = R_a \times i_a^2 = \frac{K^2 \cdot e_g^2 \cdot R_a}{2 (R_i + R_a)^2}$$

Questa potenza è massima quando, rimanendo costante e_g, $R_a = R_i$ ed allora essa diventa

$$W_{u\ max} = \frac{K^2 \cdot e_g^2}{8 R_i}$$

e ricordando la relazione del Barkhausen $S \times R_i = K$ ossia $R_i = \frac{K}{S}$ si può anche scrivere

$$W_{u\ max} = \frac{1}{8} K \cdot S \cdot e_g^2$$

Se invece noi facciamo variare e_g, p. es. regolando opportunamente lo stadio di amplificazione precedente, si ha il massimo di potenza quando $R_a = 2 \cdot R_i$ ed allora

$$W_{u\ max} = \frac{K^2 \cdot e_g^2}{9 R_i} = \frac{1}{9} K \cdot S \cdot e_g^2.$$

Cioè la potenza di uscita sarà tanto più grande quanto più grandi saranno le oscillazioni e_g che si possono dare alla griglia della valvola senza che esse vengano deformate dalla caratteristica od anche quanto più grandi saranno le oscillazioni e_g comprese sotto il tratto rettilineo della caratteristica.

Appare chiara, da ciò, l'importanza della polarizzazione di griglia sulla potenza utile della valvola.

Come abbiamo accennato, la formula sopra vista è soltanto approssimata. Una maggiore approssimazione si ha fissando anzichè v_g, la corrente $i_a = C\,D$. Se indichiamo con i_o la corrente di riposo (corrente anodica per tensione di griglia eguale a zero) $E\,A$ (fig. 32) l'esperienza ci dice che si ha la potenza di uscita massima quando

$$i_a = \text{circa}\ \frac{1}{4}\ i_o$$

In tal caso sarà anche $\frac{B\,D}{B\,E} = \frac{1}{4}$ ossia $\frac{v_a}{K} - v_g = \frac{1}{4} \frac{v_a}{K}$ ciò che equivale a dire

$$v_g = \frac{3}{4} \cdot \frac{v_a}{K}$$

Se supponiamo un rendimento (rapporto fra la potenza utile W_u e la potenza fornita $W_e = v_a\, i_a$) del 25% (astraendo dalla potenza $V_f\, i_f$ fornita al filamento)

$$W_{u\ max} = \eta \times W_e = \frac{v_a \cdot i_a}{4} = \frac{v_a \cdot i_o}{16}$$

è quindi inutile avere una valvola con emissione i_o più grande di $\frac{1}{4}\ i_a$ poichè aumentando i_a aumenta W_a, ma nello stesso tempo diminuisce il rendimento e quindi la potenza di uscita resta sensibilmente la stessa.

Dalle fig. 32 e 33 ci appare un metodo relativamente semplice per ricavare rapidamente la potenza utile massima di un triodo, nota la caratteristica. L'area del triangolo $E\,B\,A$ (fig. 32) o $E\,B'\,A$ (fig. 33) è eguale alla base $\frac{v_a}{K}$ per la metà dell'altezza i_o

$$\Delta = \text{area del « } \textit{triangolo della potenza} \text{ »} = \frac{v_a \times i_o}{2\,K} =$$

$$= \text{circa}\ \frac{v_a \times 4\, i_{an}}{2\,K} = \frac{2\, v_a\, i_{an}}{K}$$

da cui si ricava nel caso di un rendimento $\eta = 25\%$:

$$W_{u\ max} = \Delta \times \frac{2\,K}{16} = \Delta \times \frac{K}{8}$$

i_{an} è la corrente anodica normale che è quella che, di solito, le case costruttrici indicano per una data polarizzazione di griglia e per una data tensione anodica.

Non sempre però il rendimento è del 25% ed alcune case costruttrici indicano alcune formule che danno questo rendimento in funzione di v_a e di K.

Esempio 1°. — La fig. 34 si riferisce ad una valvola amplificatrice del commercio. I dati sono quelli forniti dalla Casa costruttrice. L'area del triangolo Δ risulta

$$\Delta = \frac{V_a}{K} \times 2\, i_{an} = 45 \times 2 \times 0{,}030 = 2{,}7 \text{ Watt}$$

(In realtà $\frac{V_a}{K} = \frac{400}{8} = 50$, ma noi sappiamo che la differenza 50-45 non deve venire utilizzata per evitare distorsioni)

La Casa costruttrice indica, per questa valvola, proprio la potenza di uscita di 2,7 watt.

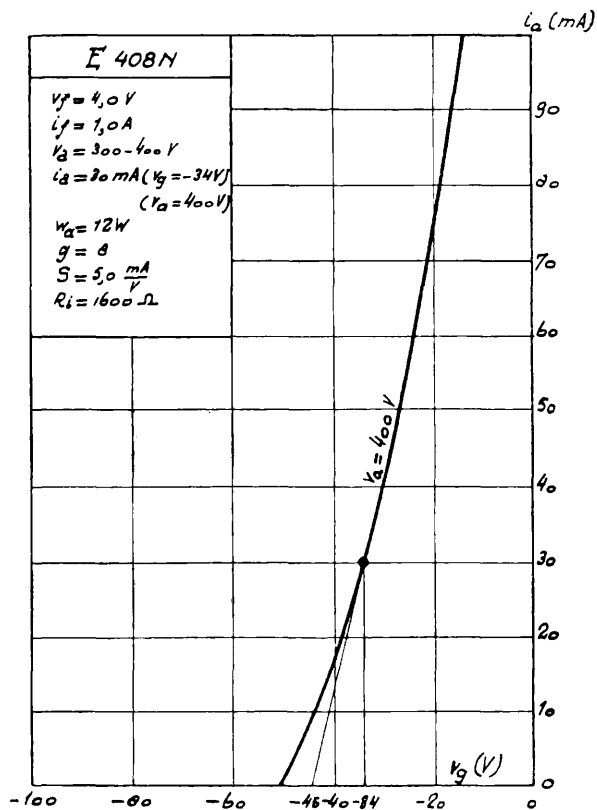



Fig. 34.

Calcoliamo questa potenza con la formula teorica

$$W_{u\ max} = \frac{1}{8} \cdot K \cdot S \cdot e_g^2$$

Dalla caratteristica si ricava che la corrente anodica normale di 30 mAmp si ha per una polarizzazione di griglia di 34 volt $\qquad v_g = 34$ volt

con la quale, le oscillazioni massime ammissibili per e_g senza avere distorsioni, sono date da 2 $B\,D$ (fig. 32) ossia da

$$e_g = \frac{2}{4}\,\frac{V_a}{K} = \frac{V_a}{2\,K} = 25 \text{ Volt}$$

ed allora si ha

$$W_{u\,max} = \frac{1}{8} \times 8 \times 0.005 \times 625 = 3.125 \text{ watt}$$

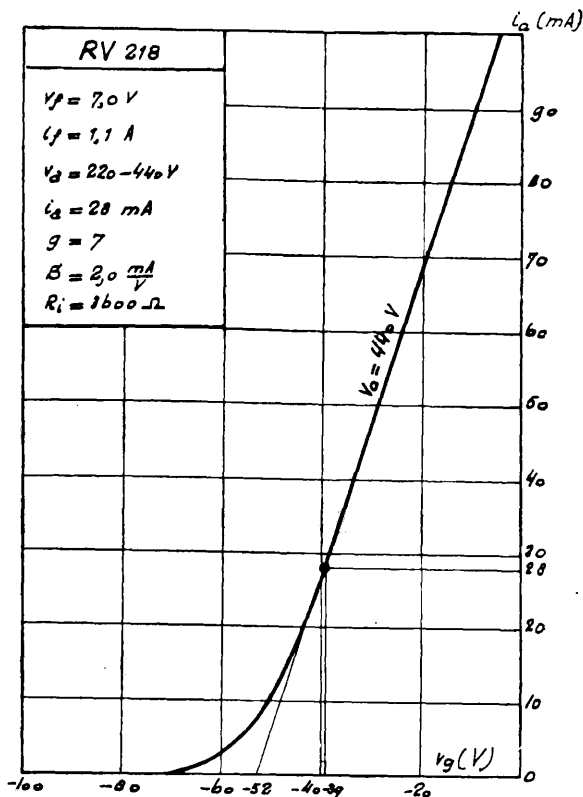



Fig. 35.

la quale deve essere considerata come un massimo teorico da non raggiungersi per quel che abbiamo detto sul rendimento. Il rendimento indicato dalla Casa costruttrice per questa valvola E 408 (astraendo dalla potenza di accensione) è del 23% col quale la potenza utile ottenibile non oltrepassa il valore di $W_{u\,max} = 12 \times 0.23 = 2{,}76$ watt circa.

Esempio 2°. — La fig. 35 si riferisce ad un'altra valvola del commercio. Con i dati indicati si ha una potenza di alimentazione $W_e = 440 \times 0{,}028 = 12.32$ watt.

Dalla caratteristica si ricava $\Delta = 52 \times 2 \times 0{,}028 = 2.9$ e

$$W_{u\ max} = \Delta \cdot \frac{K}{8} = 2.9 \times \frac{7}{8} = 2.54 \text{ watt.}$$

Con la formula teorica si ha $v_g = 39$ volt

$$e_g = 2 \frac{v_a}{4\ K} = \frac{880}{28} = 31.4 \text{ volt} \quad \text{e}$$

$$W_{u\ max} = \frac{1}{8} \times 7 \times 0.002 \times 986 = 1.8 \text{ watt circa.}$$

Il risultato ottenuto in questo caso è più basso a causa della pendenza minore che presenta questa valvola rispetto alla precedente. Si può però in tal caso aumentare le oscillazioni di griglia con un rendimento del 23% ed allora si ha

$$W_{u\ max} = W_e \times \eta = \frac{12.32 \times 23}{100} = 2.84 \text{ circa.}$$

Poichè ha grande importanza la tensione alternata di griglia massima e_g che la valvola può ricevere senza produrre distorsione, diamo qui sotto questo valore per alcuni triodi di uscita da noi controllati.

Valvola usata	Tensione alt. max eg in volt	Potenza di uscita calcolata con la $Wu = \frac{1}{8} . K . S . eg^2$	Potenza del locale per il quale è sufficente la potenza Wu	Potenza indicata dalla casa costruttrice
Philips *D* 404	circa 20	0,7 watt	sala norm.	1,1-1watt.
» *E* 406	» 17	1,4 »	sala »	1,9-2 »
» *E* 408 *N*	» 23	2,64 »	» »	2,6-2,7 »
» *F* 410	» 26	6,76 »	1000 (m³)	6,2 »
» *MC* $\|^1/_{50}$	» 60	18 »	2000 (m³)	14,4 »

Calcolando la potenza di uscita W_u con la formula vista $W_u = \frac{1}{8} \times K \times s \times e_g^2$ si hanno risultati molto prossimi ai reali.

La potenza massima di uscita dipende naturalmente anche dall'intensità del segnale che si riceve, dal trasformatore di uscita ecc., mentre il risultato finale è anche influenzato dalla qualità degli altoparlanti, dalla sonorità della sala, ecc.

Le cifre riportate danno solo un'idea approssimativa della potenza ottenibile.

La tabella sottostante riporta alcuni triodi del commercio con i dati principali e la potenza utile.

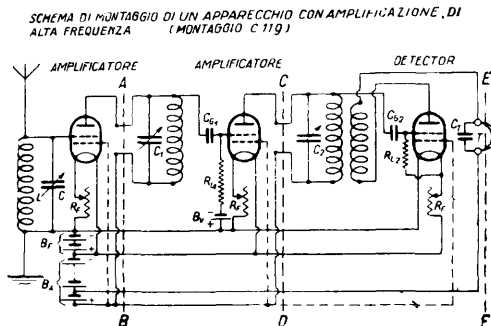
Tipo di valvola		Tensione anodica Va	Tensione di polarizzazione Vg	Potenza di alimentaz. We	Pendenza S	Resistenza interna Ri	Coeff. di amplif. K	Potenza utile Wu
Philips	*E* 408 *N*	400	34	12	5	1600	8	2,7
	F 410	550	36	25	8	1250	10	6,3
	E 406	250	24	12	6	1000	6	1.1
	D 404	200	30	6	3,5	1000	4	2
Telefunken	*RV* 218	440	39	12,5	2	36	7	2,7
	RV 24	440	38,5	17	3	1500	6,7	3,7
Geco	*P* 410	150	10,5	1,5	1,5	5000	7,5	1,5
	P 625 *A*	200	39	5	2,3	1600	3,7	53
	L S 5 *A*	400	112	14	1,1	2750	2,5	2,5

CAPITOLO VII.

Amplificazione di A. F.

L'amplificazione di alta frequenza ha luogo prima della rettificazione, l'amplificazione di bassa frequenza dopo di questa. Lo scopo dell'amplificazione di alta frequenza è quello di amplificare, prima della rettificazione, i segnali debolissimi che altrimenti non agirebbero sul detector. L'amplificazione di alta frequenza rende l'apparecchio ricevente adatto alla ricezione di stazioni lontanissime o debolissime, mentre che l'amplificazione di bassa frequenza permette all'apparecchio costruito per la ricezione in cuffia di ricevere in altoparlante.

Fig. 36.

Ne segue che le tensioni alternative sulla griglia di una valvola di alta frequenza hanno sempre una debolissima ampiezza, così che lo spazio di griglia di una valvola simile non deve essere grande. Per la funzione amplificatrice di alta frequenza si può dunque scegliere senza inconvenienti una valvola avente un coefficiente di amplificazione elevato che permette d'ottenere una forte amplificazione per stadio. D'altra parte sono sufficienti delle tensioni anodiche deboli rispetto

a quelle usate in bassa frequenza. Per la amplificazione di A F sono indicati per es. triodi i cui coefficienti di amplificazione siano 10, 25 o più. La pendenza tuttavia non deve essere troppo forte perchè in certi montaggi amplificatori di alta frequenza potrebbe provocare degli inneschi spontanei.

Questi sono nocivi per es. in un montaggio dove il circuito

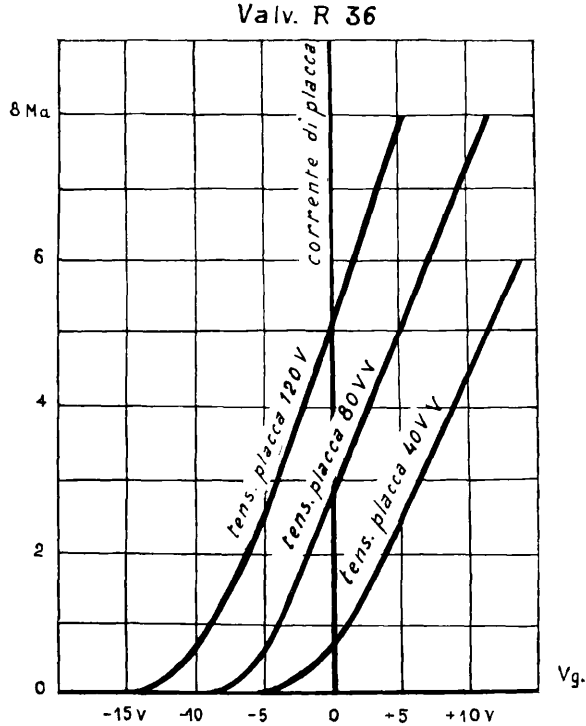



Fig. 37.

anodico della valvola amplificatrice di alta frequenza comprende un circuito sintonizzato (fig. 36).

Con un'antenna esterna uno stadio di amplificazione di alta frequenza è sufficiente per la ricezione delle stazioni trasmittenti europee più importanti. Per la ricezione su quadro o con piccola antenna interna è necessario stabilire due stadi di alta frequenza ed è anche necessario, per combattere l'innesco, ricorrere alla neutralizzazione.

Le figure 37 e 38 mostrano le caratteristiche di valvole indicate per l'A. F.

Fig. 38.

Calcolo di un amplificatore di A. F.

Per il calcolo di uno stadio di A. F. valgono le norme generali riportate a pag. 43 e seguenti. Riferendoci ancora alla fig. 21 ricordiamo la relazione trovata dell'amplificazione per stadio K_{st}:

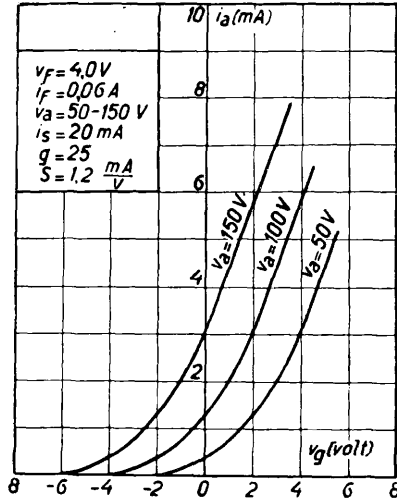
$$K_{st} = K \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_a}}$$

Noi abbiamo supposto la resistenza R_a puramente ohmica, ma è noto che di solito essa è costituita da una bobina che presenta una certa induttanza ed una certa capacità distribuita, non sempre trascurabili. Occorre perciò sostituire ad R_a l'espressione dell'impedenza $Z_a = \sqrt{R_a^2 + \left(2 \pi f L - \frac{1}{2 \pi f C}\right)^2}$ dove L e C sono la selfinduzione e la capacità del circuito esterno di placca.

Ma anche la capacità interna del triodo entra in gioco e non si può sempre trascurare. Vediamo come si può calcolare in funzione delle due capacità parziali C_{gf} tra griglia e filamento e C_{pg} tra griglia e placca.

Per effetto di queste due capacità la griglia viene caricata al potenziale V_g e la placca al potenziale $V_g + V_a$ (quest'ultima è somma aritmetica nel solo caso in cui v_g e v_a sono in fase cioè quando nel circuito di accoppiamento vi è solo resistenza ohmica).

La carica Q_g della griglia è allora data da (ricordando l'espressione $Q = V \times C$):

$$Q_g = V_g \times C_{gf} + (V_a + V_g)\, C_{pg}$$

E la capacità della valvola, rapporto tra carica e tensione, è

$$C = \frac{Q_g}{V_g} = C_{gf} + \frac{V_a + V_g}{V_g} C_{pg}$$

e ricordando le espressioni viste finora, si può scrivere

$$C = C_{gf} + C_{pg}\left(1 + \frac{K}{1 + \frac{R_i}{R_a}}\right)$$

Per un triodo di A. F. con coefficiente di amplificazione 25, $R_i = 50000$ ohm e $R_a = 200{,}000$ ohm, si ha all'incirca $C_{gf} = 7$ cm., $C_{gp} = 2{,}5$ cm. e quindi

$$C = 7 + 2.5\left(1 + \frac{25}{1 + \frac{50000}{200000}}\right) = 7 + 50 = 57 \text{ cm.}$$

A questa capacità si dà il nome di *capacità apparente del triodo* per distinguerla dalle capacità parziali effettive. Vedremo meglio in seguito questo argomento.

La resistenza che una simile capacità offre al passaggio della corrente si calcola, come è noto, con la formula $\frac{1}{2\pi f C}$ dove f è la frequenza delle oscillazioni.

Per avere un'idea di una tale resistenza, immaginiamo nel circuito di un triodo una bobina con una capacità di 20 cm. e le oscillazioni in arrivo siano di 10^6 ogni 2π periodi.

Si avrà la resistenza

$$R_a = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{10^6 \times 1.1 \times 10^{-12} \times 20} = \frac{10^5}{2} = 50.000\ \Omega$$

(ricordando che l'unità *C.G.S.* di capacità $= 1{,}1 \times 10^{-12}\ F$).

Con questa resistenza noi sappiamo che il coefficiente di amplificazione per stadio diventa:

$$K_{st} = K \frac{1}{\frac{R_i}{R_a} + 1}$$

e per un triodo di resistenza interna di 50.000 ohm si ha

$K_{st} = \frac{1}{2} K$ La resistenza dovuta alla capacità di 20 cm. dimezza dunque l'amplificazione della valvola.

Le bobine da usarsi per l'A. F. debbono possedere una induttanza non superiore a $\frac{1}{10}$ di Henry e qualche centimetro soltanto di capacità.

I triodi debbono essere di capacità interna (specialmente tra griglia e placca) molto piccola.

Capitolo VIII.

La valvola a tre elettrodi come detectrice

Per la rettificazione occorre fare la distinzione tra le onde continue e le onde smorzate. Le prime quando sono modulate costituiscono l'emissione telefonica e debbono allora essere comprese tra i segnali smorzati. La ricezione delle onde continue presenta poco interesse; noi studieremo perciò la rettificazione delle onde smorzate e delle onde continue modulate. Da ciò che si è detto riguardo le caratteristiche, è chiaro che per la rettificazione la valvola deve essere regolata a un punto della parte curva della caratteristica, poichè soltanto allora la variazione della corrente anodica prodotta durante l'alternanza positiva della tensione di griglia differisce dalla stessa variazione prodotta durante l'alternanza negativa di questa tensione.

Vi è dunque un effetto di raddrizzamento che costituisce appunto una rettificazione. Si potrebbe dunque ottenere la rettificazione applicando la tensione di alta frequenza tra la griglia e il filamento della valvola e fissando il punto di funzionamento su una regione curva della caratteristica. Questa rettificazione è detta per « corrente di placca »; essa è poco applicata a causa della sua scarsa sensibilità.

Si usa molto più spesso la rettificazione detta « per corrente di griglia », per la quale l'effetto di raddrizzamento è ottenuto regolando la valvola sulla parte curva della caratteristica di corrente di griglia. Per caratteristica di corrente di griglia

s'intende la curva che lega tra di loro la corrente e la tensione di griglia. La corrente di griglia comincia a circolare quando la griglia è positiva rispetto al filamento. Per la rettificazione è dunque indispensabile che la griglia sia portata ad un potenziale positivo rispetto al filamento, e ciò si realizza connettendo la *resistenza di fuga* sull'estremo positivo del filamento. La regolazione di questa resistenza permette inoltre di agire sul valore del potenziale della griglia. Questa regolazione della tensione di griglia al valore più favorevole, cioè al valore che assicura la migliore detezione, è una delle funzioni della resistenza di fuga. Il montaggio normale della valvola detectrice è rappresentato dalla figura 39.

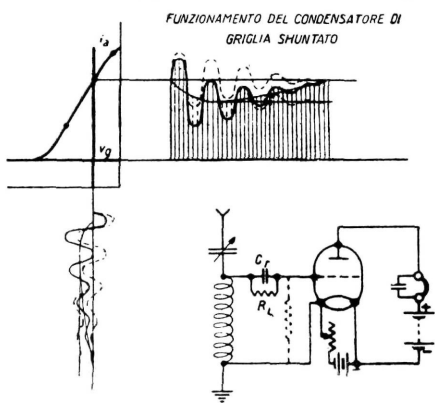



Fig. 39.

Nel circuito di griglia si intercala un condensatore C_r, mentre la resistenza di fuga R_1 è connessa tra la griglia e l'estremo positivo del filamento. La figura mostra ciò che succede in tal caso. A sinistra sono rappresentate le oscillazioni smorzate come quelle che sono indotte tra la griglia e il filamento.

Ammettiamo che il condensatore C_R sia caricato positivamente dalla prima alternanza del treno d'onde incidente. Una stessa quantità di elettricità negativa è allora trattenuta dall'armatura collegata alla griglia mentre che una quantità di elettricità positiva è spinta verso la griglia.

Per maggiore facilità ammettiamo che non vi sia resistenza di fuga. La griglia resa positiva attira un certo numero di elettroni che non possono più abbandonarla essendone bloccati dal condensatore.

Il risultato è dunque che a ogni alternanza positiva la griglia ammassa un certo numero di elettroni. Durante l'alternanza negativa la griglia è negativa rispetto al filamento, ed essa non attira dunque alcun elettrone; d'altra parte la carica negativa non può dissiparsi e l'arrivo di un treno d'onde carica dunque negativamente la griglia ad un potenziale che aumenta

costantemente, ciò che genera una diminuzione continua della corrente anodica.

La corrente anodica dunque segue le variazioni di alta frequenza della tensione di griglia ma diminuisce anche gradualmente di valore. Alla fine del primo treno d'onde la griglia deve essere liberata della sua carica negativa supplementare e questa è la seconda funzione della resistenza di fuga. Infatti durante lo spazio di tempo che separa due treni d'onde, questa resistenza permette alla griglia di perdere la sua carica negativa. Tutto ciò è rappresentato dalla figura. La stessa cosa ricomincia nel treno d'onde seguenti e la corrente anodica subisce dunque una diminuzione ogni volta che vi è un treno in arrivo. Se i segnali smorzati sono per es. composti di 1000 treni d'onde per secondo, vi sarà dunque una diminuzione di corrente anodica 1000 volte per secondo e la membrana del telefono è attirata 1000 volte per secondo e produce un suono di 1000 periodi per secondo.

Se invece si tratta di un segnale continuo modulato, la situazione è perfettamente la stessa poichè un segnale modulato non differisce essenzialmente da un segnale smorzato.

Il valore della rettificazione è in primo luogo determinato dalla forma della caratteristica della corrente di griglia. Questa è all'incirca la stessa per tutte le valvole e da questo punto di vista tutte le valvole possono compiere la funzione di detectrice. Ma le variazioni di tensione di griglia sono convertite in variazioni di corrente anodica e queste ultime sono tanto più grandi quanto più la pendenza della valvola è forte. La migliore valvola sarà dunque quella avente la più forte pendenza purchè, ben inteso, la detecczione sia regolata al punto più favorevole della caratteristica di corrente di griglia. Il coefficiente di amplificazione non ha grande importanza nella rettificazione.

CAPITOLO IX.

Il triodo come oscillatore

Generalità.

Lo studio dettagliato del triodo trasmittente ossia del triodo usato come generatore di oscillazioni, ci porterebbe troppo lontano e noi accenneremo perciò soltanto ai principii generali.

Un triodo trasmittente non differisce sostanzialmente da un triodo ricevente; esso è identico salvo la maggiore potenza ossia la maggiore corrente di saturazione, la più alta tensione anodica e, in generale, le più grandi dimensioni materiali.

Immaginiamo di « *eccitare* » uno di tali triodi con una corrente alternata di alta frequenza applicata alla griglia. Le oscillazioni di questa corrente, amplificate, passano nel circuito di placca. Se noi riportiamo, con un opportuno sistema di accoppiamento, le oscillazioni di placca di nuovo sulla griglia, esse torneranno ad essere amplificate e passeranno di nuovo nel circuito di placca e così via; queste oscillazioni arriveranno ad un massimo limitato dalla caratteristica del triodo come accenneremo in altra parte di questo volume. Nasce così il concetto di « *reazione* » il quale non è nuovo in meccanica. Nelle macchine a vapore per es. il cassetto distributore viene spostato dal volante e permette il passaggio del vapore (tensione continua) al di sotto o al di sopra dello stantuffo che comanda a sua volta il volano, l'azione del quale ritorna a ripetersi sul cassetto e così di seguito.

Anche in un orologio a pendolo vi è applicato il principio della reazione.

La tensione continua di un peso tende a far girare una ruota dentata la quale mette in moto il pendolo a mezzo di una àncora, ma il moto del pendolo è tale che con l'àncora ad esso solidale permette il movimento a scatti della ruota dentata.

Nel caso del triodo il fenomeno è analogo: vi è una tensione

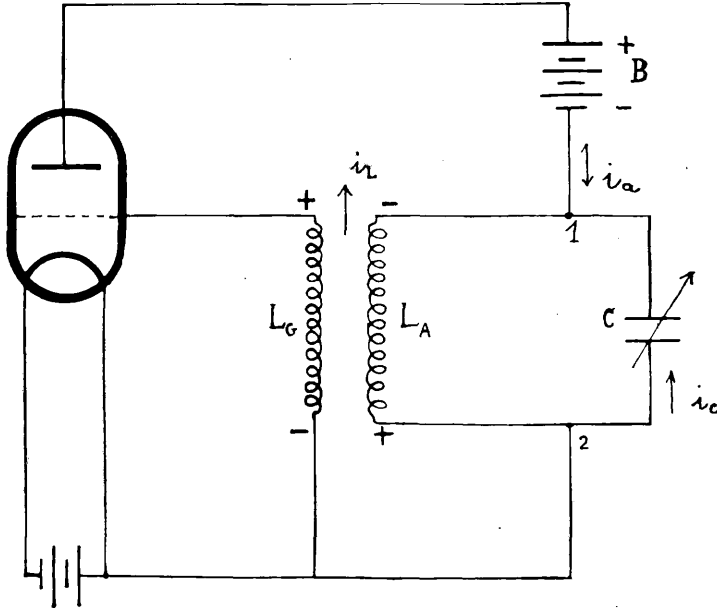



Fig. 40.

continua, quella di placca, la quale permette alle oscillazioni di griglia di venire amplificate fino al massimo. Ora tanto nel caso del cassetto distributore, quanto nel caso del pendolo, occorre che la tensione continua a disposizione venga interrotta o inserita al momento giusto per permettere al movimento di continuare (con linguaggio tecnico diremo che la tensione deve avere la giusta frequenza e la giusta fase).

Questa inserzione e disinserzione della tensione continua viene effettuata, nel primo caso dal volano (di solito solidale con le ruote) e nel secondo caso dal pendolo.

Ora consideriamo il circuito di fig. 40. La tensione conti-

nua di cui abbiamo parlato è qui rappresentata dalla tensione V_a della batteria B.

L'accoppiamento del circuito di placca con quello di griglia per permettere il ritorno delle oscillazioni dalla placca alla griglia, avviene a mezzo delle bobine L_A, (o meglio del circuito oscillante L_A C) ed L_G.

Ora per « manovrare » il circuito oscillante L_A C dobbiamo procedere come nel caso del cassetto di distribuzione e del pendolo, cioè dobbiamo interrompere ed inserire la corrente

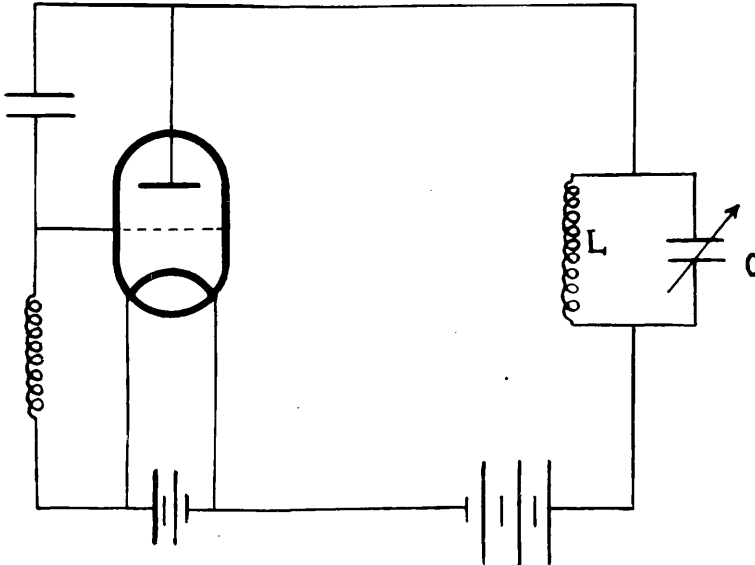



Fig. 41.

continua anodica con la frequenza e con la fase appropriata al circuito. La corrente nel circuito oscillante si stabilisce quando la placca ha tensione positiva, si interrompe quando la griglia si collega alla tensione negativa.

L'accoppiamento tra il circuito di placca e quello di griglia può anche avvenire a mezzo di una capacità (fig. 41); si ha allora la « *reazione capacitativa* » mentre si chiama « *reazione magnetica* » quella del caso precedente.

La fig. 42 mostra la maniera di ottenere la reazione magnetica inserendo il circuito oscillante sulla griglia ed accoppiando con esso una bobina disposta nel circuito di placca.

Teoria dei triodi trasmittenti.

Immaginiamo di conoscere i valori del circuito oscillante o di lavoro e cioè L, C, R e siano e_g la tensione alternata di griglia ed e_a quella alternata di placca.

Sia invece V_a il valore della tensione continua di placca.

Noi ci riferiamo alla fig. 40 per i generatori di oscillazioni in cui l'eccitazione della griglia viene prodotta dall'accoppiamento dei due circuiti di placca e di griglia e che chiamiamo «*generatori con autoeccitazione*» ed alla fig. 43 per i generatori «*con eccitazione separata*» nei quali cioè la griglia viene eccitata da una sorgente esterna.

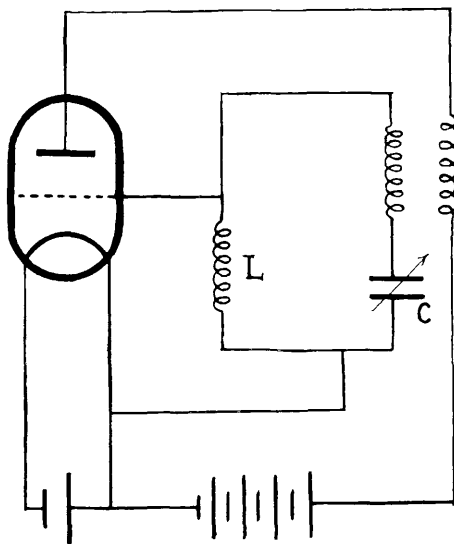



Fig. 42.

Quando la tensione di griglia e_g cresce, la tensione anodica e_a diminuisce a causa della maggiore caduta nel circuito esterno. Cioè le due tensioni di placca e di griglia, se noi le rappresentiamo riferite al tempo su uno stesso diagramma ci verranno rappresentate dalla fig. 44. Da ciò segue che può capitare che il valore istantaneo della tensione anodica diventi più piccolo della tensione di griglia ed allora non tutti gli elettroni del filamento raggiungono la placca, ma una parte si ferma sulla griglia dando luogo ad una corrente nel circuito di griglia e quando la tensione anodica oscilla sotto lo zero, la corrente elettronica scorre tutta nel circuito di griglia e la corrente di placca è zero.

La fig. 45 mostra la variazione della corrente elettronica totale $i_e = i_a + i_g$ in funzione della tensione di griglia per diversi valori della tensione anodica. A queste curve si dà il nome di *caratteristiche di emissione*.

Per potere rappresentarci le caratteristiche di lavoro di un triodo trasmittente ci riferiamo alle figg. 41 e 42 e chiamiamo con R_a la resistenza esterna del circuito di lavoro.

Se la caratteristica del triodo si può considerare rettilinea si ricava:

1°) Se R_a è una pura resistenza ohmica, la curva di lavoro cioè la maniera di variare della corrente anodica i_a

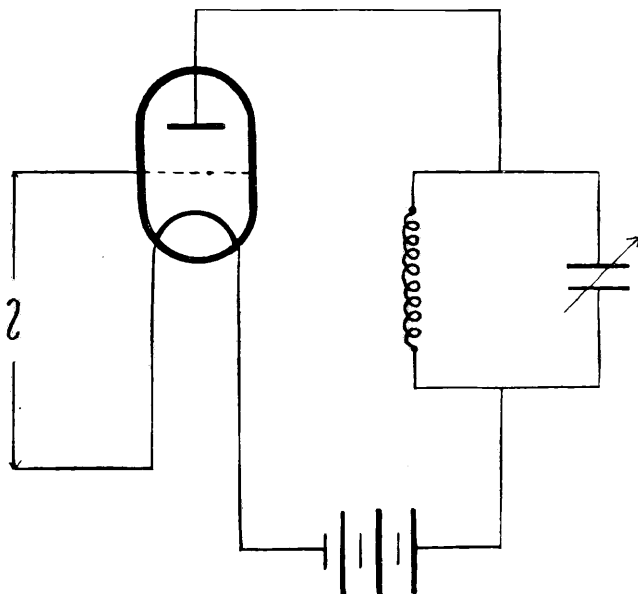



Fig. 43.

in funzione della tensione di griglia e_g del triodo è una retta con pendenza $S = \frac{K}{R_i + R_a}$

2°) Se la resistenza esterna è una bobina con induttanza L, la curva di lavoro sarà un'ellisse; la corrente anodica i_a è sfasata in ritardo rispetto alla tensione di griglia e_g ed il suo valore massimo è $i_{a\,max} = \frac{1}{\sqrt{R_i^2 + 4\,\pi^2\,f^2\,L^2}}$

La curva di lavoro viene percorsa nel senso della freccia (fig. 46).

3°) Se la resistenza esterna è costituita da un circuito oscillante di caratteristiche $L_1\ C_1\ R$ la curva di lavoro è ancora un ellisse che verrà percorsa nel senso della fig. 46 se prevale

l'induttanza (frequenza propria del circuito oscillante maggiore della frequenza di eccitazione) e nel senso inverso se prevale la capacità (frequenza propria del circuito oscillante minore

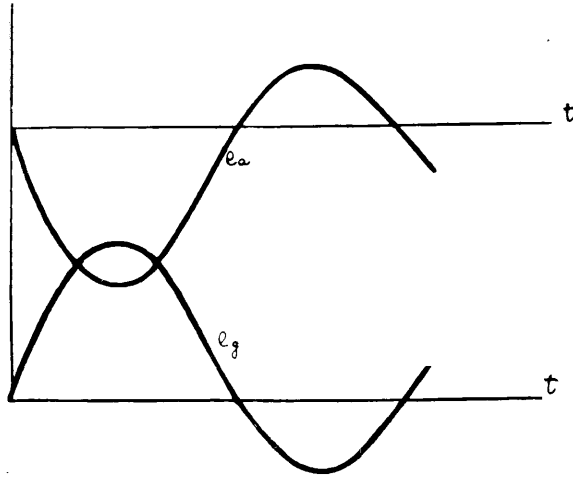



Fig. 44.

della frequenza di eccitazione) nel qual caso la corrente i_a è sfasata in anticipo rispetto alla tensione di griglia e_g. Se invece la frequenza propria del circuito oscillante è eguale a quella

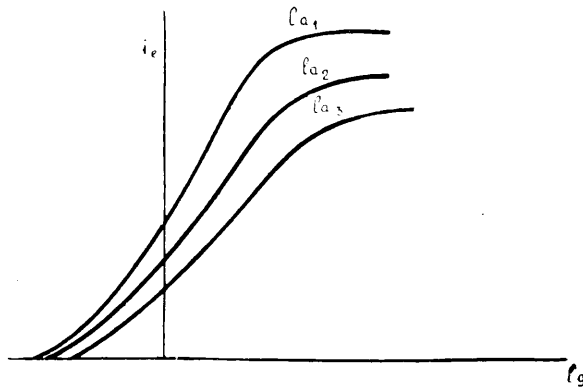



Fig. 45.

di eccitazione, allora questo circuito si comporta come una resistenza ohmica di valore $\frac{L}{C\,R}$ e la curva di lavoro diventa

(caso 1°) una retta con pendenza

$$S = \frac{K}{R_i + \frac{L}{C\,R}}$$

È questo il caso della sintonia.

Dai diagrammi di lavoro sopra riportati si ricava che un triodo si comporta come un generatore di corrente alternata (alternatore) con f. e. m. $K\,e_g$ e resistenza interna R_i ossia $K\,e_g = R_i\,i_a - e_a$. (Questa formula è facilmente ricavabile dalle relazioni a noi note).

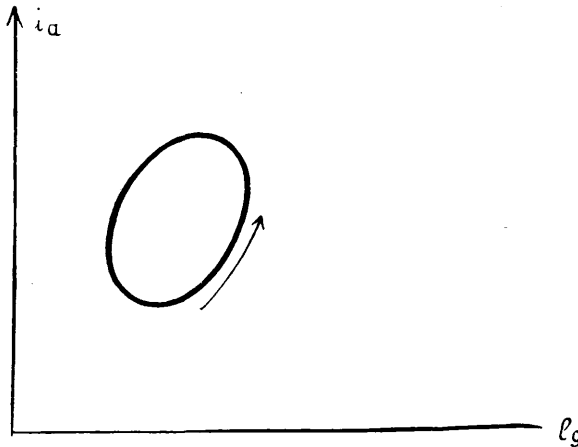



Fig. 46.

Se R_i è grande di fronte ad R_a, caso più comune per grandi valori del coefficiente di amplificazione K, allora i_a ed e_g hanno la stessa fase; per valori più grandi di R_a, e_g è sfasata sempre di più in anticipo rispetto ad e_a.

Abbiamo finora visto come varia la corrente anodica nel circuito di lavoro, variando la tensione di eccitazione, ma adesso dobbiamo vedere quale è il momento migliore per « *inserire* » e quale quello per « *disinserire* » questa corrente così come abbiamo accennato negli esempi del cassetto a vapore e del pendolo.

Anzitutto consideriamo nelle figg. 47 e 48 una caratteristica del triodo e la curva che ci dà la variazione di e_g col

tempo. Dividiamo il periodo OA della tensione oscillante di griglia in un certo numero di parti per es. 12 e su ogni punto

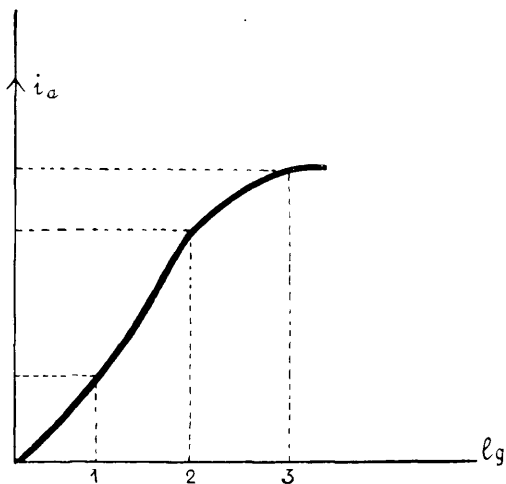



Fig. 47.

di divisione troviamo i corrispondenti valori di e_g (1, 2, 3...).

Riportando questi valori nella caratteristica di fig. 47

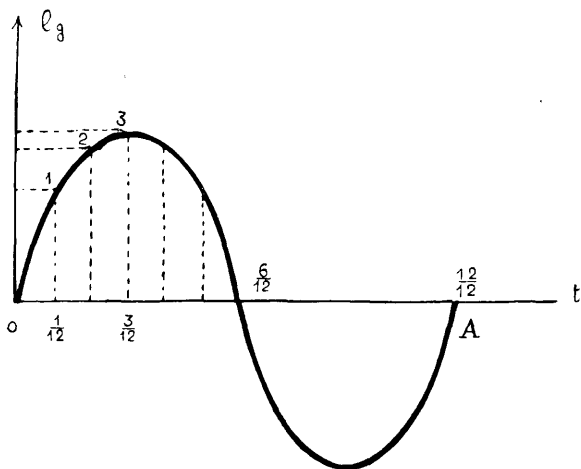



Fig. 48.

troviamo i corrispondenti valori di i_a in ognuno dei tempi 1, 2, 3 ecc. Possiamo così tracciare il diagramma che ci dà la variazione della corrente anodica col tempo (fig. 49).

Ottenuto il valore di i_a è facile avere quello delle altre grandezze:

tensione oscillante nel circuito di lavoro $e_a = i_a R_a = i_a \frac{L}{C R}$;

energia nel circuito oscillante $w_u = \frac{e_a i_a}{2}$ e, se poi conosciamo la tensione continua anodica (batteria anodica) V_a, la potenza di tale batteria sarà $w_b = \bar{i}_a \times V_a$ dove $\bar{i}_a$ è il valore medio della corrente anodica ed il rendimento $\eta = \frac{w_a}{w_b}$

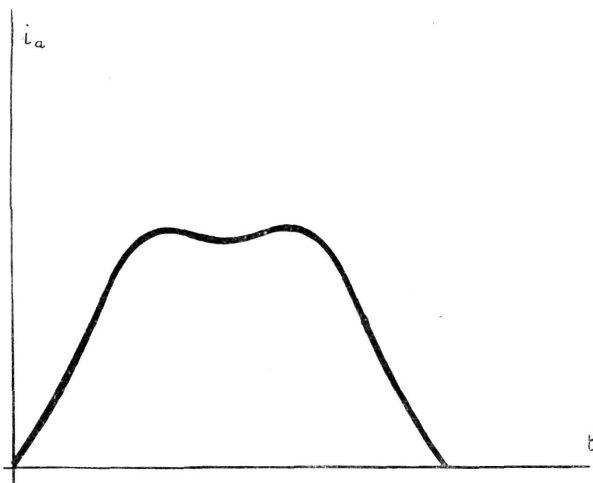



Fig. 49.

La potenza nel circuito oscillante o potenza utile w_u dipende perciò, come si vede, dalla resistenza esterna R_a. Se noi tracciamo le curve che ci indicano come varia w_u in funzione della resistenza R_a per diversi valori di e_g (fig. 50), vediamo che w_u non va sempre crescendo, ma presenta un massimo e poi decresce. Vi è dunque un valore di R_a che rende massimo w_u.

Ma la potenza che un triodo trasmittente può fornire nel circuito oscillante è limitata, oltre che dal valore di R_a, anche da un altro fenomeno.

Gli elettroni emessi dal filamento ed accelerati dalla tensione di placca si precipitano sulla placca ed in quest'urto

perdono tutta la loro energia cinetica. La placca per questo « bombardamento elettronico » si riscalda, dissipando in calore una parte dell'energia fornita dal tubo. La potenza totale del triodo è quindi limitata da questa potenza che la placca può dissipare sotto forma di calore senza che essa si riscaldi tanto fino a emettere dei gas che possono compromettere il funzionamento della valvola o che giunga addirittura a fusione.

Il valore di R_a che rende massima la potenza w_u prende

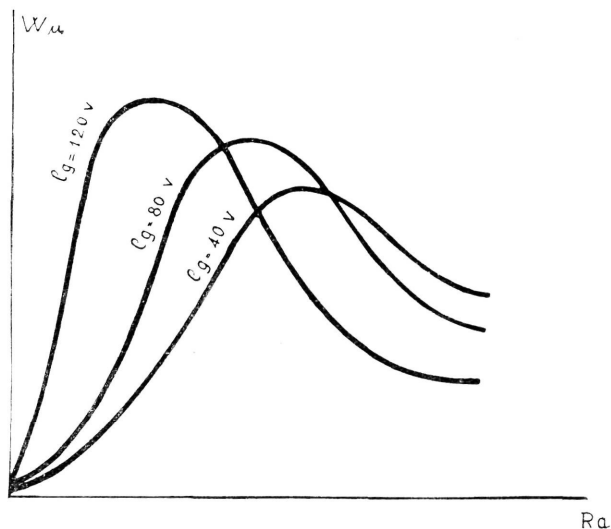



Fig. 50.

il nome di *resistenza limite*. Orbene la pratica ci dice che *il triodo emette la sua energia massima quando la resistenza totale tra l'anodo ed il catodo eguaglia la resistenza limite.* Facciamo un esempio:

Vogliamo l'energia massima del triodo collegato ad un'antenna di resistenza di irradiamento R, capacità C e induttanza L (fig. 51).

Si trova che la resistenza limite $R_{lim} = R_a =$ resistenza tra i punti A e B ossia

$$R_{lim} = \frac{4\ \pi^2 f^2 L^2_1}{R} \quad \text{da cui} \quad L_1 = \frac{1}{2\ \pi f} \sqrt{R \times R_{lim.}}$$

Nel caso della fig. 52 si ha

$$R_{lim} = R_a = \frac{L_1}{C_1} \quad \frac{R}{4\ \pi^2 f^2 M^2_{12}}$$

Riferendoci alla fig. 53 vediamo quali sono le grandezze caratteristiche del triodo trasmittente.

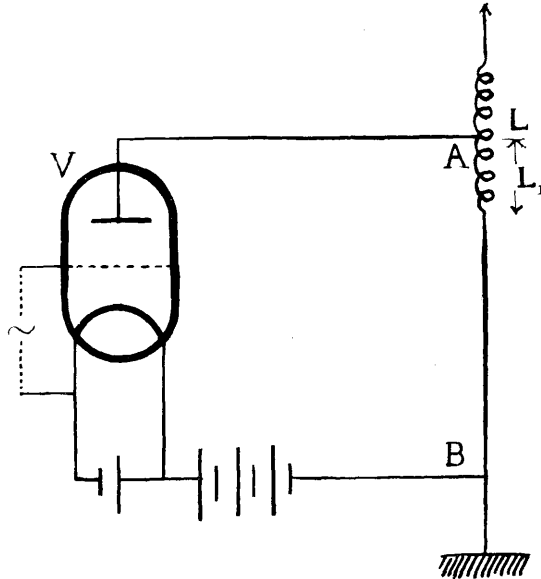
La *potenza dissipata* dal triodo sotto forma di calore nel circuito di placca ci è data dal prodotto $(v_a + e_a)\ i_a$ dove per e_a ed i_a si intendono i valori medii durante un periodo della tensione anodica alternata e_a e della corrente anodica i_a.

Appare quindi chiaro che perchè questo prodotto sia minimo, è preferibile che la corrente i_a si stabilisca solo quando e_a è minimo (come segnato in figura) e che l' intervallo di tempo t_o sia il minimo possibile.

Fig. 51.

La *potenza fornita* al triodo (potenza «impout» o potenza di entrata) ci è data da $w_i = v_a \times i_a$ dove i_a è sempre il valore medio della corrente anodica durante un periodo, valore che non deve oltrepassare $^1/_3$ della corrente di saturazione.

Una parte di questa potenza viene dissipata nel circuito di placca, come abbiamo visto, ma in altra piccola parte viene dissipata nel circuito di griglia nel quale si trova applicata la tensione di polarizzazione v_g e nel quale scorre una corrente i_g quando la tensione alternata di griglia $(e_g + v_g)$ diventa positiva. Cosicchè la potenza dissipata totale sarà

$$w_p = (v_a + e_a)\ i_a + (e_g + v_g)\ i_g$$

La corrente di griglia i_g è normalmente compresa tra il 15 ed il 25% della corrente anodica.

La *potenza utile* ceduta al circuito oscillante di lavoro sarà data dalla differenza

$$w_u = w_i - w_p$$

ed il rendimento

$$\eta = \frac{w_i - w_p}{w_i} = \frac{w_u}{w_i}$$

Se il tempo t_o è una piccola frazione del periodo, questo rendimento può essere anche di parecchio superiore al 50%.

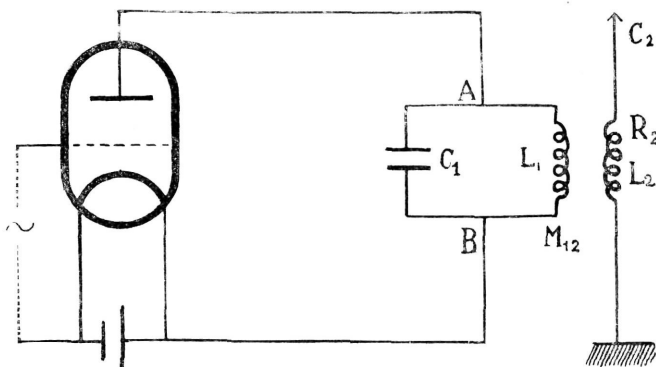



Fig. 52.

Di solito le Case costruttrici indicano la potenza di alimentazione e la potenza utile per diversi valori del rendimento.

Nel caso teorico in cui la curva i_a-t sia rettangolare e copre un semiperiodo, si ha cioè il valore medio di $i_a = \frac{i_s}{2}$, allora la potenza di alimentazione sarà

$$w_i = v_a \times i_a = \frac{v_a \times i_s}{2}$$

la potenza utile si può anche rappresentare con

$$w_u = \frac{e_a \times i_a}{2} = \frac{v_a \times i_s}{\pi}$$

ed in tal caso il rendimento è

$$\eta = \frac{w_u}{w_i} = \frac{2}{\pi} = 64\%$$

Nel caso di un oscillatore ad autoeccitazione (vedi fig. 40) abbiamo già visto come un'oscillazione nel circuito oscillante di lavoro viene indotta, attraverso la bobina di reazione, di nuovo sulla griglia la quale a sua volta fa variare ancora la corrente anodica e quindi l'oscillazione nel circuito oscillante e così di seguito fino a raggiungersi quello stato, definito dalla caratteristica del triodo, al quale diamo il nome di « *stazionario* ». In questo stato, perchè l'ampiezza e la frequenza delle oscil-

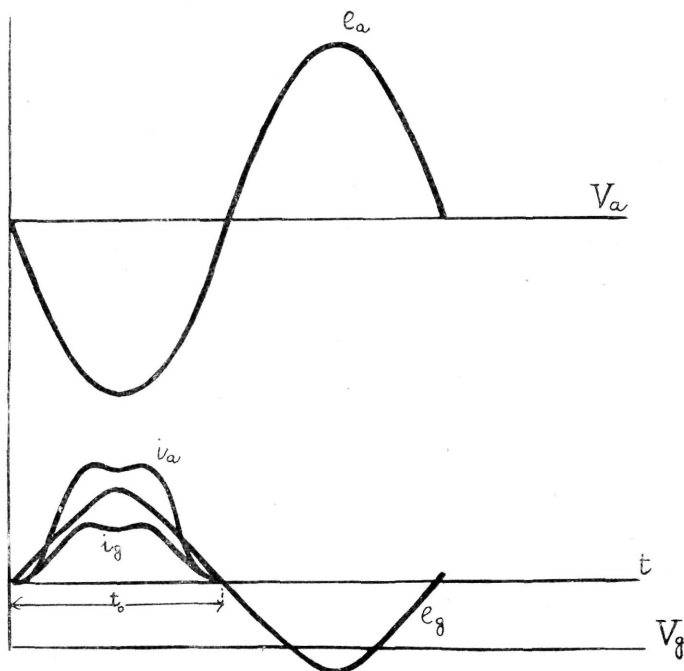



Fig. 53.

lazioni non variino, è necessario che *la corrente anodica sia tanto grande che le oscillazioni nel circuito di lavoro, eccitate da essa e la tensione di griglia dipendente da queste, producano nel triodo di nuovo una corrente anodica di fase ed ampiezza perfettamente eguali alla fase ed all'ampiezza della corrente anodica originaria.*

Se la corrente anodica eccitata ha un'ampiezza più grande di quella originaria allora si consuma più energia nel circuito di lavoro che non, sotto forma di calore, nelle resistenze di smorzamento e le oscillazioni sono variabili. Se invece la cor-

rente anodica eccitata ha un'ampiezza più piccola della originaria (accoppiamento di reazione troppo debole) allora il bisogno di energia nel circuito oscillante non viene più compensato dalla reazione e le oscillazioni possono disinnescarsi.

Un ragionamento analogo ci porta a stabilire anche le esatte fasi.

La fase della corrente anodica i_a determina la fase dell'oscillazione del circuito di lavoro e questa la fase della tensione di griglia indotta attraverso la bobina di reazione, la quale di nuovo (insieme con la fase della tensione anodica e_a) determina la fase della corrente anodica.

Se la corrente anodica eccitata precede la originaria, allora la frequenza delle oscillazioni non è più costante: per ogni oscillazione l'eccitazione giunge troppo presto ed il risultato sarà una diminuzione della durata delle oscillazioni ossia un aumento della frequenza (diminuzione della lunghezza d'onda emessa).

Se la corrente eccitata ritarda sulla originaria allora la frequenza delle oscillazioni diminuirà (aumenterà la lunghezza d'onda emessa).

Omettiamo il calcolo della ampiezza e della fase di questa corrente, calcolo che ci porterebbe troppo lontano e per il quale rimandiamo i lettori ad un trattato speciale dell'argomento.

Capitolo X.

Tetrodi

Abbiamo visto a pag. 27 quale influenza nociva abbia sulla emissione elettronica, la carica spaziale che impedisce alle linee di forza uscenti dalla placca, di raggiungere il filamento. Per aumentare l'emissione elettronica per una data tensione anodica, occorre *distruggere la carica spaziale* evitando lo *stato stazionario* e quindi lo schermo alle linee di forza elettrica.

Lo Schottky tra i primi ha risolto il problema mediante l'introduzione di una *griglia ausiliare*, posta tra il filamento e la griglia normale.

Questa seconda griglia va posta in prossimità del luogo dove la carica spaziale ha la massima densità e va caricata positivamente; essa funziona quindi come una seconda placca.

Gli elettroni emessi dal filamento, chiamati con moto accelerato verso questa griglia ausiliare, la attraversano e si addensano davanti alla successiva griglia normale riducendo quasi a zero la loro velocità. La densità della corrente di emissione e con essa la densità della carica spaziale risultano in stretta dipendenza dal diametro del filamento e da quello della griglia normale. Con un diametro del filamento di 0.1 mm. e diametro della griglia normale di 10 mm. la densità della carica spaziale si riduce ad 1/100 del valore primitivo (Moeller).

E chiaro ora che variazioni anche piccole del potenziale della griglia normale provocate dalle radioonde in arrivo, per-

mettono ad una grande quantità di elettroni addensati davanti ad essa, di spostarsi e, attraverso le sue maglie, di portarsi sulla placca.

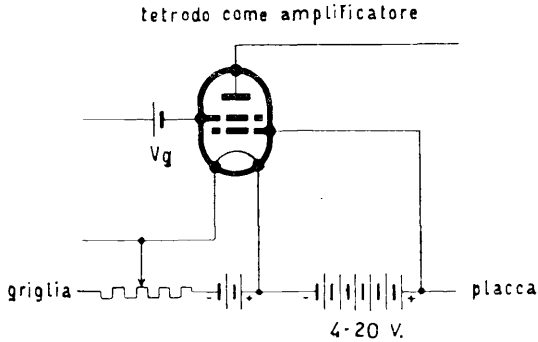
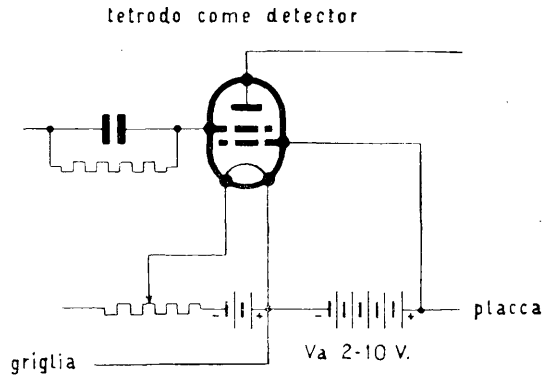



Fig. 54.

L'avere la griglia ausiliare una carica positiva non rende più necessario un alto potenziale di placca perchè tale carica concorre alla creazione del campo elettrostatico che deve mettere in moto gli elettroni del filamento.

Si ha perciò in definitiva una notevole riduzione del potenziale anodico che deve essere presa in considerazione nei moderni tipi di apparecchi.

Fig. 55.

Le figg. 54 e 55 mostrano come avviene l'inserzione di questa valvola. Il morsetto laterale a cui fa di solito capo la griglia ausiliare va collegato al polo positivo della batteria di placca e per il resto la valvola va considerata come un triodo comune. La pila segnata nel circuito di griglia della valvola adoperata come amplificatore, serve a dare a v_g il valore più opportuno (di solito — 1 volt).

CAPITOLO XI.

L'alimentazione in alternata delle valvole termoioniche

Per qualsiasi tipo di valvola termoionica ricevente le sorgenti di energia sono sempre tre:

a) sorgente di energia per l'accensione del filamento;

b) sorgente di energia per la tensione di polarizzazione di griglia;

c) sorgente di energia per la tensione di placca.

Studieremo separatamente queste tre sorgenti di energia fermando in definitiva la nostra attenzione sui tipi di valvole che utilizzano per tutte e tre le sorgenti la comune rete d'illuminazione domestica in corrente alternata.

Sorgente di energia di accensione.

L'accensione dei filamenti delle valvole termoioniche è ancora all'ordine del giorno. Si sa già come finora tutte le valvole così dette in corrente continua facciano uso per tale scopo di un accumulatore di 2, 4 o 6 V secondo il tipo di valvola usato.

Le prime valvole usate (a consumo ordinario di 0,6 a 0,7 A) esigevano l'uso di accumulatori di forte capacità. Supponiamo infatti un apparecchio ricevente a 4 di tali valvole: il consumo di accensione è di 2,5 A circa. Se l'accumulatore ha una capacità, relativamente già forte, di 40 A/ ora è facile calcolare come in meno di 15 ore questo accumulatore sarà

scaricato. Deve essere perciò prevista una carica ogni 3 o 4 giorni, ciò che è una fonte di noie nonchè una causa di deterioramento rapido dell'accumulatore stesso.

Per tale ragione fin dal principio della radiotelefonia la questione dell'accensione del filamento delle valvole fu studiata in maniera particolare.

Un primo progresso fu realizzato sostituendo le valvole a consumo normale (di 0,7 e 0,5 amp.) con le attuali valvole a consumo ridotto (0,06 amp. circa). Con queste ultime valvole il consumo di energia per i filamenti di un ordinario apparecchio a 4 valvole si riduce a circa 0,45 A (2 valvole da 0,06 A + 2 valvole da 0,15 A).

Tuttavia negli apparecchi andò sempre aumentando il numero di valvole usate fino a raggiungere spesso 8 o 9 per le supereterodine, ed allora il consumo passò a $7 \times 0,06 +$ $+ 2 \times 0,15$, cioè a circa 7/10 di A.

Un accumulatore della stessa capacità di quella vista precedentemente funzionerebbe in questo caso per 45 a 50 ore di ascolto che equivalgono circa a 10, 12 giorni.

Già alcuni fabbricanti si sono preoccupati di provvedere alla ricarica di questi accumulatori e tutta una serie di raddrizzatori di corrente alternata venne creata per tale scopo.

Restava tuttavia sempre a deplorare la presenza degli accumulatori, sorgente di noie continue, di proiezioni di acido che corrode e rovina gli oggetti con cui viene a contatto, nonchè di noie per la loro manutenzione e per il loro rapido deterioramento.

Si fece anche uso di pile a secco meno ingombranti, ma solo per apparecchi a una o due valvole a causa della loro capacità sempre ridotta, così gli accumulatori rimasero obbligatoriamente con le loro noie continue nonostante la facilità di ricarica.

Uso di pile termoelettriche.

Tutti sanno che la corrente di accensione delle valvole riceventi deve essere la più costante possibile. È venuta dunque naturale l'idea di utilizzare le proprietà, notevoli da questo punto di vista, delle pile termoelettriche.

Il funzionamento delle pile termoelettriche è basato sul seguente fenomeno: se si costituisce una coppia di due metalli e si riscalda la saldatura così ottenuta, lasciando fredde le due

estremità, si constata il passaggio di una corrente, debolissima, nel circuito così formato (figura 56).

L'intensità e la tensione di questa corrente dipendono dalla combinazione dei metalli usati. L'intensità è poi funzione della sezione dei conduttori ed il vantaggio ottenuto è funzione della differenza di temperatura tra la saldatura e le estremità.

Fig. 56.

S'immaginò allora di disporre parecchie di queste coppie in serie come indicato nella fig. 57 e di riscaldare le saldature A mantenendo a bassa temperatura le saldature B.

Si riuscì così a fabbricare una specie di «pile» che, costituite da un gran numero di coppie, davano 4 V con un'intensità di 1 A (tensione e intensità necessarie per un apparecchio ricevente ordinario).

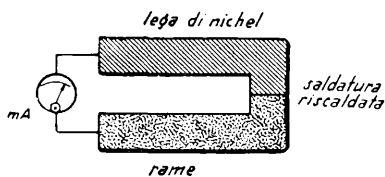
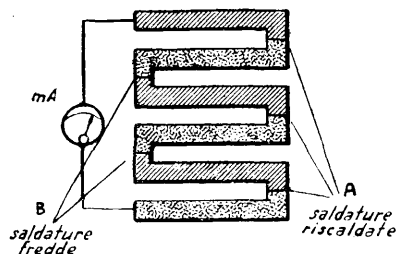
Una serie di saldature era riscaldata per es. a mezzo di un radiatore elettrico evitando il riscaldamento eccessivo dell'altra serie. Con questo sistema si aveva il vantaggio di poter funzionare indifferentenente su corrente continua o alternata e anche, in caso di bisogno, con un riscaldamento a gas o a essenza.

Il metodo era certamente seducente, ma disgraziatamente numerosi inconvenienti non sono tardati a comparire e tra questi i più importanti sono i seguenti:

Fig. 57.

1° Consumo di corrente che può giungere fino a 2 o 3 A. Per quanto ben protetto contro le perdite di calore, un apparecchio così formato ha sempre delle perdite di calore eccessive che ne abbassano di molto il rendimento.

2° È troppo lenta la messa in funzionamento: infatti è necessario un certo tempo (2 o 3 minuti) per ottenere la temperatura indispensabile al buon funzionamento dell'apparecchio stesso.

3° Diminuzione della tensione erogata dopo un certo tempo di funzionamento. Per conduzione lungo le coppie,

l'alta temperatura di una saldatura raggiunge insensibilmente l'altra anche se questa è raffreddata dall'aria. Ora essendo il voltaggio fornito funzione della differenza di temperatura fra le due saldature, esso dopo un certo tempo diminuisce. Per evitare questo difetto dovrebbe essere previsto un dispositivo di raffreddamento con circolazione d'acqua, ma questo sarebbe molto complicato ed eleverebbe di molto il prezzo di acquisto delle pile così formate.

Gli inconvenienti sopra riportati hanno fatto abbandonare questa soluzione a prima vista tanto lusinghiera, poichè i vantaggi che si ottengono sono largamente controbilanciati dalle noie e dalla scarsa entità dei risultati.

RADDRIZZAMENTO E FILTRAGGIO DELLA CORRENTE ALTERNATA.

Il raddrizzamento della corrente anche a forte intensità non presenta più oggi alcuna difficoltà dopo i perfezionamenti apportati nelle valvole raddrizzatrici. Oggi si può facilmente ottenere, partendo dalla corrente della rete, una corrente di 4 V con 1,2 A. Ma la corrente ottenuta col semplice raddrizzamento anche delle due semionde della corrente alternata non è *continua*.

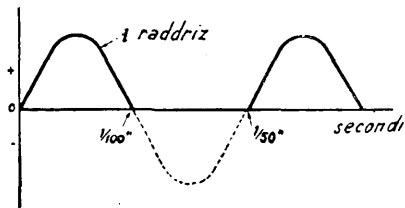



Fig. 58.

La fig. 58 mostra la forma della corrente quando il raddrizzamento è unilaterale, mentre la figura 59 mostra la forma della corrente quando il raddrizzamento è bilaterale. Si constata facilmente come questa corrente è fortemente ondulata.

Si tratta di appiattire questa curva, e per ciò utilizzeremo due organi essenziali per qualsiasi apparecchio di T.S.F.: i condensatori e le bobine di self.

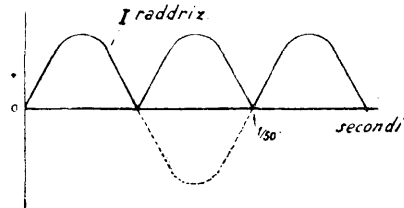



Fig. 59.

Il condensatore funziona un po' come un accumulatore tampone. Esso immagazzina del potenziale nei punti massimi della corrente e lo restituisce nei minimi.

La fig. 60 mostra nella linea punteggiata come viene trasformata la curva per effetto dell'inserzione di condensatori adatti.

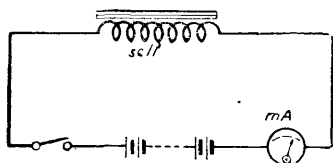
L'effetto delle self è diverso. Quando una corrente percorre un solenoide (self) si nota l'effetto seguente: appena applicata la corrente questa non passa immediatamente tutta (senza che ciò debba imputarsi all'inerzia del milliamperometro per es.).

Fig. 60.

Il milliamperometro dunque non devia immediatamente fino al suo punto di stabilizzazione.

La figura 61 mostra lo schema adoperato e la figura 62 la curva che rappresenta il fenomeno accennato.

Fig. 61.

Analogamente se si interrompe la corrente il milliamperometro non ritorna immediatamente a zero. Immaginiamo dunque di applicare una corrente nel tempo zero; essa non prende il suo valore I che dopo il tempo T (figura 62).

Se si interrompe la corrente nel tempo T' questa non cadrà a zero che a T''.

Questo fenomeno è dovuto alla presenza di una forza elettromotrice che nasce nel solenoide quando si stabilisce in esso la corrente o quando si vuole interrompere la corrente che in esso circola. Questa forza tende ad opporsi a qualsiasi variazione di corrente.

Fig. 62.

Questo fenomeno si può assimilare al fenomeno dell'inerzia meccanica che si verifica per es. in un treno il quale deve mettersi in moto. La sua velocità di regime non viene raggiunta che dopo un certo tempo funzione della massa del treno e se, d'altra parte, si vuol fermare di colpo il treno (ridurre la velocità a zero) questo non av-

viene che dopo un certo tempo anche esso funzione della massa del treno. In questo caso dunque l'inerzia agisce come la forza elettromotrice di un circuito munito di self. Essa ritarda lo stabilirsi della velocità all'inizio e si oppone all'arresto immediato del treno alla fine della corsa.

Sia *A* la curva della corrente raddrizzata (figura 63) e *B* la corrente ottenuta all'uscita del condensatore. Quando questa corrente agisce da 1 a 2, una forza contro elettromotrice verrà a crearsi che tende a ritardare lo stabilirsi di questa corrente. Da 2 a 3 la forza elettromotrice tenderà al contrario a ritardare la caduta di corrente e il risultato sarà un appiattimento della curva *B* che diventa così la curva tratteggiata *C*.

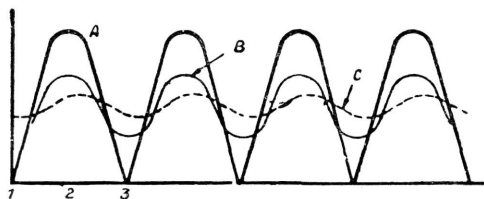



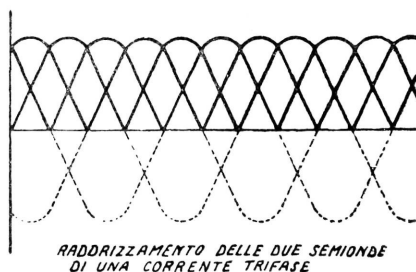
Fig. 63.

Questo appiattimento è tanto più grande quanto più:

1º La frequenza è grande. Vi è dunque vantaggio a raddrizzare le due alternanze della corrente e anche, se possibile, a raddrizzare le due alternanze di una corrente trifase (figura 64) che danno già prima del filtraggio una corrente risultante pochissimo ondulata. (D'altronde è proprio questo raddrizzamento esafase che è usato in quasi tutte le stazioni trasmittenti per la tensione di placca).

Fig. 64.

2º L'induttanza della bobina sarà grande. Il coefficiente di selfinduzione dipende dal numero delle spire della bobina stessa. Si è riusciti ad aumentare notevolmente questa selfinduzione introducendo nel solenoide un nucleo di ferro dolce. Il montaggio da usare è dunque quello rappresentato dalla figura 65.

Tuttavia questo filtraggio, che è facile nel caso di piccole intensità di corrente, non è più facilmente ottenibile nel caso in cui occorre un'intensità di corrente di 1 A circa (corrente

di accensione), come avviene con le moderne valvole ad accensione indiretta. La caduta di tensione è tanto più importante quanto più è grande l'intensità di corrente; per evitare questa

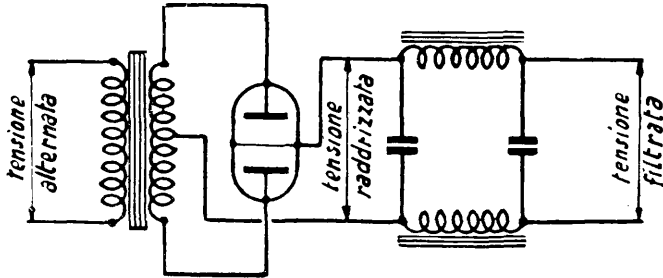



Fig. 65.

caduta è indispensabile l'uso di conduttori di sezione sufficiente con che si evita anche il riscaldamento.

Da quanto abbiamo esposto si ricava che, per il miglior rendimento, bisogna costituire una self:

a) a grandissimo numero di spire;

b) con un filo conduttore a forte sezione.

Queste condizioni sono difficilmente conciliabili senza arrivare ad un prezzo elevato e ad un ingombro considerevole. Inoltre il calcolo ci dice che per livellare completamente una corrente dell'ordine di 1 A i condensatori da usare dovrebbero essere dell'ordine di 70.000 μ *F*. Anche questa soluzione è stata perciò scartata.

Alimentazione diretta del filamento su corrente alternata.

Se si alimentano i filamenti delle valvole direttamente con la corrente alternata a mezzo di un trasformatore abbassatore di tensione, si constata nella ricezione un ronzio insopportabile di frequenza doppia di quella della rete. Se la rete è per es. a 50 periodi (e noi ci riferiremo sempre a questa frequenza in tutti gli esempi successivi) si avrà al filamento tensione nulla ogni 1/100 di secondo e tensione massima ogni 1/100 di secondo successivo.

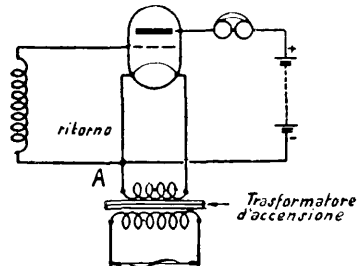



Fig. 66.

La figura 66 mostra la disposizione usata in tal caso.

Il ronzio che si verifica nell'audizione può essere prodotto da 5 cause differenti:

1° *Variazione di temperatura del filamento*:

Infatti ogni 1/100 di secondo la differenza di potenziale agli estremi del filamento cade a zero ed il calore sviluppato è nullo variando la temperatura del filamento come il quadrato dell'intensità di corrente. Varia dunque anche il numero di elettroni emessi dal filamento, ciò che produce una variazione della corrente di placca e quindi un ronzio a 100 periodi. Avviene, in fondo, lo stesso fenomeno come se si spegnesse il fi-

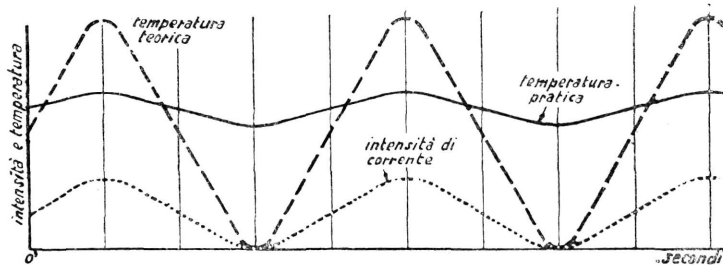
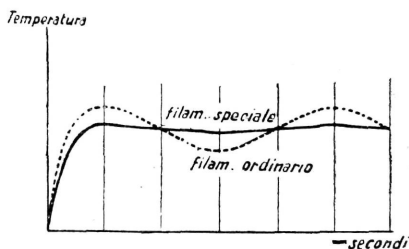



Fig. 67.

lamento. In realtà non è perfettamente così poichè il filamento possiede una certa inerzia calorifica per cui non prende la sua temperatura massima che dopo un certo tempo dall'accensione e non si raffredda completamente se non un certo tempo dopo l'estinzione. Sarebbe perciò desiderabile aumentare più che possibile questa inerzia del filamento poichè un'inerzia

Infatti un corpo caldo irradia il suo calore (si raffredda) in funzione della quarta potenza della sua temperatura assoluta (temperatura in gradi centigradi + 273°). Dunque meno il filamento sarà caldo e più la sua temperatura resterà stabile.

Fig. 68.

La figura 68 mostra il paragone tra la costanza di temperatura di un filamento speciale così concepito e quella di un filamento ordinario.

2° *Uso della reazione*:

L'uso della reazione in una gran parte degli apparecchi riceventi distrugge i vantaggi che si possono ottenere con l'uso dei filamenti speciali visti precedentemente (figura 69).

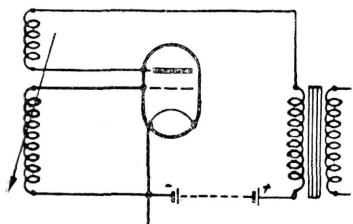



Fig. 69.

Quando si spinge la reazione al limite d'innesco si constata che una leggerissima variazione della tensione del filamento mantiene queste oscillazioni. Questo fatto è dovuto alla variazione della resistenza interna e in tal caso il ronzio assume un'ampiezza insopportabile.

3° *Il campo magnetico circolare* (effetto Magnetron):

Quando gli elettroni lasciano il filamento, essi sono sottoposti a due forze:

1) quella proveniente dal campo elettrico risultante

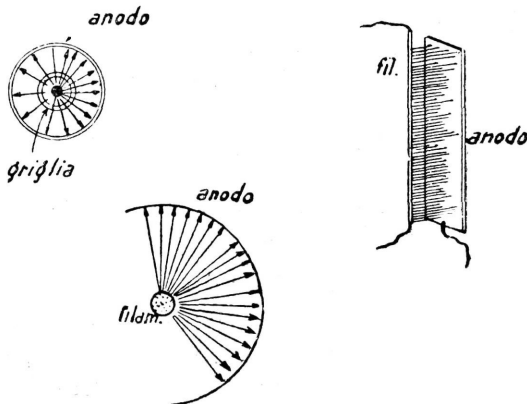
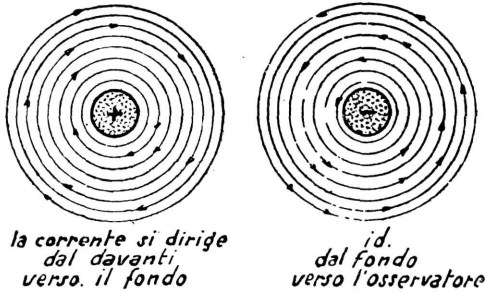



Fig. 70.

dalla differenza di potenziale tra filamento e placca, la quale imprime agli elettroni un movimento rettilineo (fig. 70);

2) quella proveniente da un campo magnetico circolare dovuto al passaggio della corrente di accensione nel filamento. Questo campo sarà tanto più intenso quanto più grande è la corrente di accensione (figura 71).

Fig. 71.

Alimentando il filamento con corrente continua, quindi di senso costante, non esiste questa causa di perturbazioni; ma se la corrente di accensione è alternata il senso di questa forza cambia ogni 1/100 di secondo. Il numero di elettroni che raggiungono la unità di superficie della placca non è costante e ciò fa variare la corrente di placca con conseguente ronzio nell'audizione (vedi figura 72).

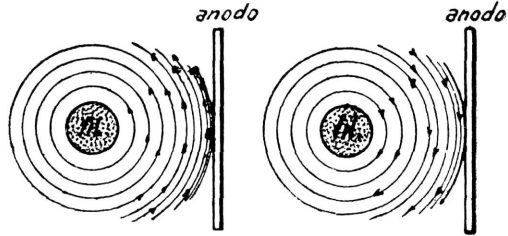



Fig. 72.

Il rimedio contro questa perturbazione consiste nel disporre due filamenti in serie l'uno contro l'altro e tali che la circolazione istantanea della corrente abbia luogo in senso inverso (filamento a V).

4° *Variazione alternata di potenziale dei punti di ritorno di griglia e di placca.*

Se il secondario del trasformatore di alimentazione ci dà per es. 4 V efficaci noi avremo agli estremi del filamento una tensione alternata massima di $4\sqrt{2} = 5{,}6$ V. La variazione di potenziale nell'estremo A del filamento sarà di — 5,6 a + 5,6 V, cioè una differenza di potenziale di 11,2 V.

Se la tensione di placca applicata è di 100 V. la differenza di potenziale placca-filamento varia egualmente tra ogni punto del filamento e la placca.

Nell'estremo A avremo successivamente:

$$100 - 5{,}6 = 94{,}4$$
$$\text{e } 100 + 5{,}6 = 105{,}6$$

e questo ogni 1/100 di secondo d'intervallo.

Si può però osservare che se gli estremi del filamento hanno un potenziale che varia costantemente, il punto di mezzo si trova però a un potenziale neutro. Un punto del filamento disposto in una metà, compensa il punto corrispondente dell'altra metà (almeno se si lavora nella parte rettilinea della caratteristica).

Ma è difficile in un montaggio fare il ritorno di griglia (e di placca) al punto di mezzo del filamento. Si fa allora uso di due artifizi:

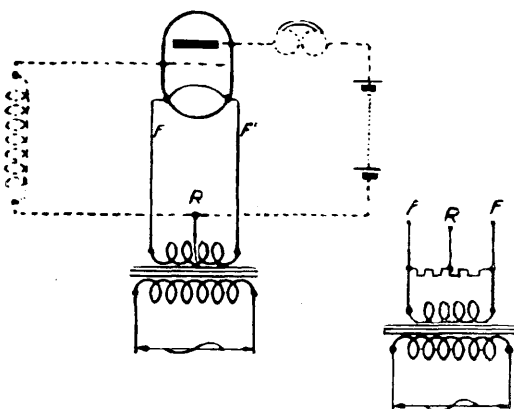
1° si stabilisce il punto medio del secondario del trasformatore di alimentazione (vedi fig. 73).

Fig. 73.

2° si fa uso del cursore di una resistenza (potenziometro) di 200 a 400 ohm inserita in parallelo sul filamento; questo secondo metodo è preferibile al primo poichè con esso si può scegliere esattamente il punto neutro, mentre che con una presa mediana occorre una costruzione accuratissima.

È perciò raccomandabile scegliere trasformatori di accensione di costruzione accurata che possano dare questa garanzia.

5° *Modulazione dovuta alla corrente di griglia.*

In alta e in bassa frequenza la griglia deve sempre restare negativa rispetto a tutti i punti del filamento. In questo caso la resistenza interna *R* tra la griglia e il filamento è infinita.

Alimentando il filamento con corrente alternata la griglia è positiva 50 volte al secondo rispetto a una metà del filamento e 50 volte al secondo rispetto all'altra metà.

In queste condizioni nascerà una corrente tra la griglia e il filamento. Per la metà del filamento per la quale la griglia è positiva si verificherà un aumento di emissione elettronica cioè un aumento di corrente di placca. Si viene così a creare una modulazione della corrente di placca in funzione della rete e questa modulazione sopprimerà qualsiasi possibilità di audizione.

D'altro canto la resistenza interna R_i della valvola è disposta in parallelo sul circuito d'accordo ed essa varia con la frequenza 100, doppia di quella della rete.

Lo smorzamento del circuito d'accordo seguirà gli stessi cambiamenti della resistenza, varierà quindi l'intensità e quindi anche la tensione alternata raccolta agli estremi; l'energia di A. F. viene così ad essere modulata.

Una polarizzazione negativa più forte della griglia potrebbe sopprimere quest'ultimo inconveniente. Il primo però non può essere eliminato poichè infatti, l'influenza della tensione di griglia è la base stessa del funzionamento della valvola.

IMPOSSIBILITÀ DI ALIMENTARE IL FILAMENTO DI UNA VALVOLA DETECTRICE DIRETTAMENTE CON LA CORRENTE ALTERNATA.

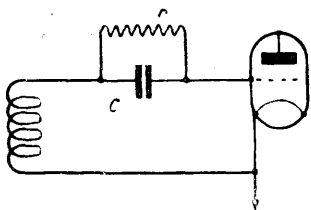
Come abbiamo visto una delle maniere più usate per la rivelazione dei segnali è quella di utilizzare la curvatura della caratteristica di griglia della valvola; il funzionamento della rettificazione è basato cioè su una corrente di griglia che nasce nel circuito filamento-griglia quando questa è positiva.

Fig. 74.

La figura 74 mostra lo schema di questa disposizione.

Ora, nel caso di accensione diretta del filamento con corrente alternata, quando la griglia è positiva rispetto a una metà del filamento essa è negativa rispetto all'altra metà. Non vi sarà dunque che una detezione incompleta e quindi una deformazione.

Bisognerebbe dare una leggera tensione positiva alla gri-

glia per completare la detecczione senza riuscire tuttavia a eliminare la deformazione. È poi assolutamente impossibile pensare a utilizzare uno dei poli del filamento per il ritorno del circuito di griglia e di placca.

Si può rimediare a questo inconveniente utilizzando la curvatura della caratteristica di placca (figura 75); questo sistema di rettificazione è però molto meno sensibile; inoltre è necessario rendere la griglia negativa, ciò che porta la resistenza interna da 6000 a 20.000 ohm circa. La riproduzione delle note gravi è allora quasi interamente soppressa; oltre a ciò un certo ronzio si fa notare, proveniente dall'uso di una parte curva della caratteristica.

Il miglior sistema sarebbe l'uso della galena come detector non necessitando allora alcuna sorgente di tensione ausiliare. Disgraziatamente il punto sensibile va in tal caso ricercato prima di ogni audizione e inoltre la potenza è molto più debole; infatti la valvola detectrice, oltre alla sua azione rettificatrice, ha anche un certo potere amplificatore che può essere notevolmente aumentato con l'uso della reazione la quale contribuirà anche a migliorare la selettività.

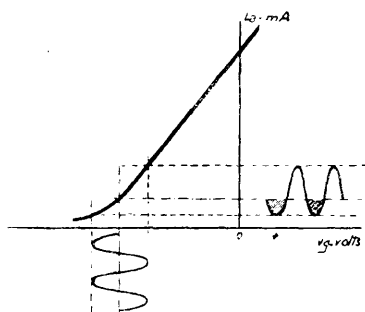



Fig. 75.

RISCALDAMENTO INDIRETTO.

Poichè ad alimentare il filamento direttamente con la corrente alternata si presentano tutti gl'inconvenienti intravisti, i costruttori si sono preoccupati di ricorrere a qualche altro sistema, e tra questi il riscaldamento indiretto, che è ormai abitualmente applicato nelle valvole moderne.

In tal caso non si richiede dal filamento una capacità emissiva di elettroni, ma si tiene conto *unicamente* della sua capacità calorifica.

Il filamento teso a forma di V è circondato da una guaina in terra porosa che serve a comunicare il calore sviluppato per induzione ad una placca metallica il catodo, che è coperta di ossido alcalino. Sotto l'effetto di questo calore il

catodo emette degli elettroni e, a causa dell'inerzia considerevole del sistema, nessuna variazione nell'emissione può farsi sentire con le variazioni di tensione dovute alla corrente alternata. Le figure 76 e 77 mostrano due di tali filamenti.

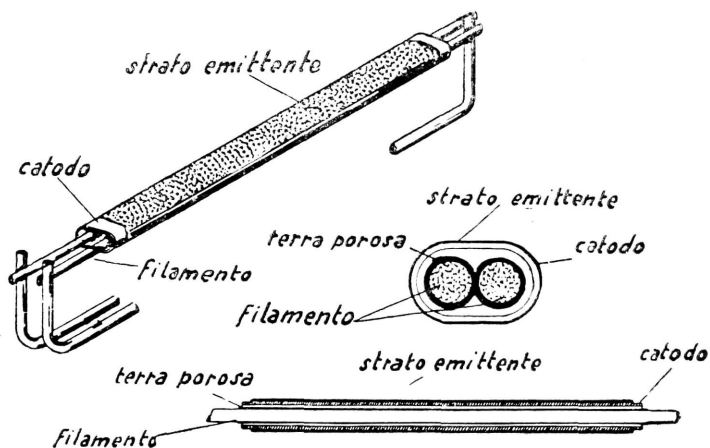



Fig. 76.

Un altro vantaggio del catodo è che esso presenta una superficie a potenziale costante, ciò che non si aveva col filamento.

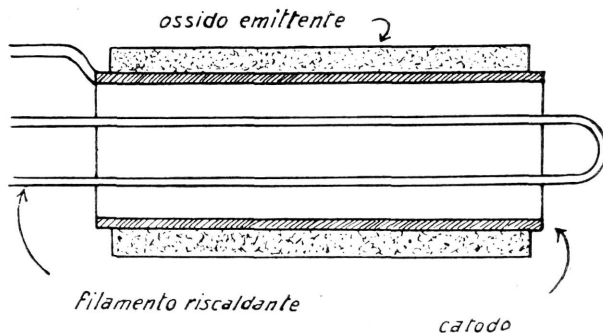



Fig. 77.

Il ritorno dei circuiti di griglia e di placca si fa in questo catodo emittente. Le figure 78 e 79 permettono di vedere chiaramente le connessioni di una tale valvola che potrebbe d'altronde funzionare anche su corrente continua nel caso

di uso di tensioni alternate irregolari che potrebbero causare disturbi.

Lo svantaggio di queste valvole è dato dalla difficoltà della loro costruzione e quindi dal loro prezzo e, in secondo luogo, dal consumo un po' più elevato del filamento che però non oltrepassa i 3,75 watt circa, consumo che è ben lontano dall'essere proibitivo sulla rete dell'illuminazione.

Fig. 78.

Queste valvole sono perciò le sole consigliabili come rettificatrici, mentre sono vantaggiose in A. F. e nel primo stadio di B. F.

Nello stadio finale si può ricorrere anche a valvole ad accensione diretta e noi vedremo nella seconda parte di questo

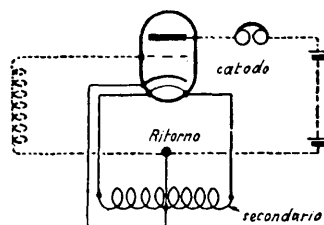
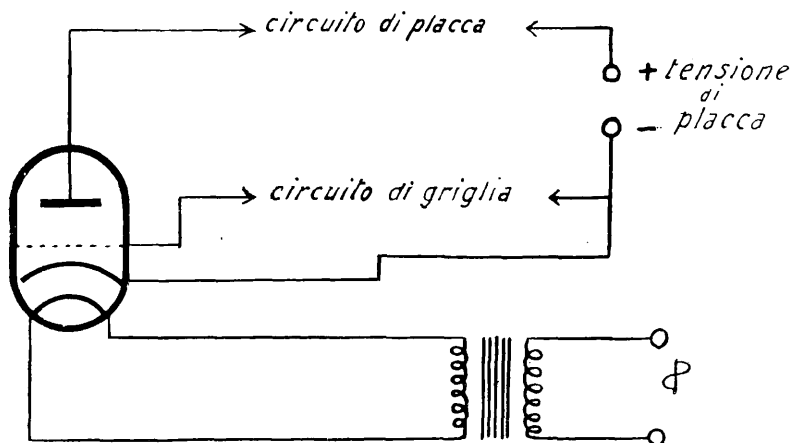



Fig. 79.

volume come i pentodi, abbastanza usati per lo stadio finale sono tutti ad accensione diretta.

Sorgente di energia per la polarizzazione di griglia.

Anche la batteria a secco della tensione negativa di griglia usata finora nelle valvole alimentate con corrente continua, si può sostituire con dei mezzi semplici nelle nuove

valvole in corrente alternata. Vogliamo principalmente fermare l'attenzione sulla *polarizzazione automatica di griglia.*

L'APPARECCHIO RICEVENTE COMPLETAMENTE ALIMENTATO IN CORRENTE ALTERNATA

Si può ammettere senza tema di sbagliarsi che praticamente tutti i dilettanti di T.S.F. conoscono, almeno di nome, la nozione di « tensione di polarizzazione negativa di griglia ». di cui abbiamo tanto parlato nella parte I. Non è la stessa cosa per il numero di coloro che sanno ciò che questo termine significa.

Lo scopo della tensione di polarizzazione negativa di griglia applicata quasi esclusivamente nelle valvole amplificatrici (di alta e di bassa frequenza) dell'apparecchio ricevente è doppio:

1) La valvola può, a mezzo della griglia negativa, essere regolata sul funzionamento migliore.

2) Con la tensione negativa di griglia si evita la produzione di correnti di griglia che sono la causa di serie distorsioni.

Senza ritornare sull'argomento già trattato, possiamo dire senz'altro che la tensione negativa di griglia è indispensabile nei montaggi degli apparecchi riceventi moderni. Di più, per le valvole amplificatrici di alta frequenza, la tensione negativa di griglia può servire a regolare tanto l'intensità sonora quanto la selettività.

Il valore di questa tensione negativa di griglia varia, per differenti tipi di valvole, tra una frazione di 1 V e 30 e più V circa. Poichè non si ha bisogno che di una *tensione* e che non vi è praticamente un consumo di corrente, si è fatto uso finora di una batteria di pile a secco. Ora la tecnica moderna dell'alimentazione in corrente alternata ha fatto cadere in disgrazia *tutte* le batterie per l'apparecchio ricevente. Inoltre in conseguenza del riscaldamento in corrente alternata e pertanto con l'assenza dell'accumulatore, l'ottenimento di una tensione negativa di griglia conveniente per la valvola amplificatrice di alta frequenza è diventato un problema a parte.

TRE METODI.

Un primo metodo consiste nell'uso della tensione negativa di griglia fornita da appositi raddrizzatori e livellatori, i così detti « alimentatori » di cui parleremo più avanti. Essi comportano oltre che un raddrizzatore per la tensione di placca, una valvola raddrizzatrice speciale per la tensione negativa di griglia seguita da un circuito filtro e da un potenziometro in derivazione.

Un secondo metodo che interessa sopratutto il costruttore dilettante è basato sulla legge di Ohm.

Segue da questa legge che la perdita di tensione che subisce la corrente elettrica passando da una resistenza determinata, è eguale al prodotto dell'intensità per questa resistenza.

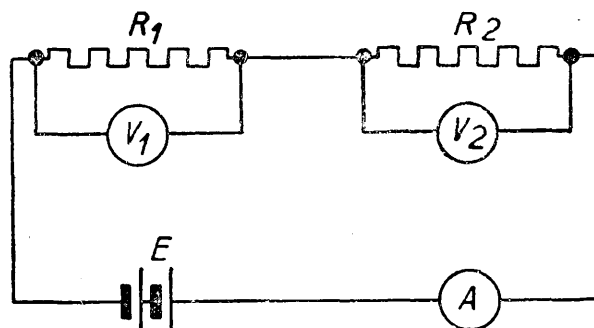



Fig. 80.

Lo schema della figura 80 mostra un circuito comprendente una forza elettromotrice E (10 V), le resistenze in serie R_1 (9 ohm) e R_2 (1 ohm) e l'amperometro A nonchè due voltometri V_1 e V_2 che indicano la tensione agli estremi di R_1 e R_2.

Segue dalla forma più nota della legge di Ohm: l'intensità di corrente $= \frac{\text{tensione}}{\text{resistenza}}$, che l'amperometro A indicherà: $\frac{10}{9+1} = 1$ A. Il primo voltometro indicherà 9 V e il secondo 1 V.

Modificando il valore di R_2 per es. si può, mantenendo l'intensità di corrente costante nel circuito, diminuire l'indicazione del voltometro V_2.

APPLICAZIONE.

Per ritornare sulla questione che c'interessa sostituiamo la forza elettromotrice con l'alimentatore di placca, R_1 con l'apparecchio ricevente e R_2 con la resistenza che deve servir per ottenere automaticamente la tensione negativa di griglia. Otteniamo così lo schema della figura 81.

Per maggiore facilità l'alimentazione di placca non comporta, in questa figura, delle derivazioni speciali per la tensione della detectrice.

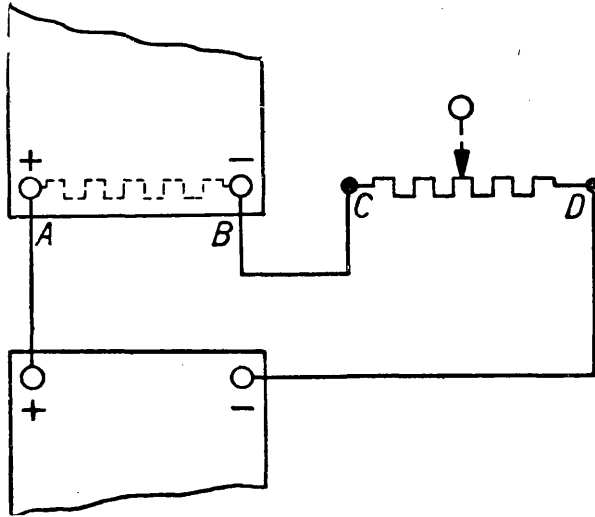



Fig. 81.

Tra i morsetti A e B dell'apparecchio ricevente esiste una differenza di potenziale eguale al prodotto dell'intensità di corrente per la resistenza, come tra i morsetti C e D della resistenza ausiliare, ciò che significa che il punto C ha una tensione negativa minore del punto D che è collegato direttamente al polo negativo dell'alimentatore di placca. D ha dunque un potenziale negativo rispetto al polo negativo della tensione anodica (filamento o catodo e terra) dell'apparecchio ricevente, ciò che noi cercavamo precisamente. Se si monta sulla resistenza CD un cursore si otterrà così una sorgente regolabile di tensione di polarizzazione negativa di griglia che basta collegare al morsetto esatto.

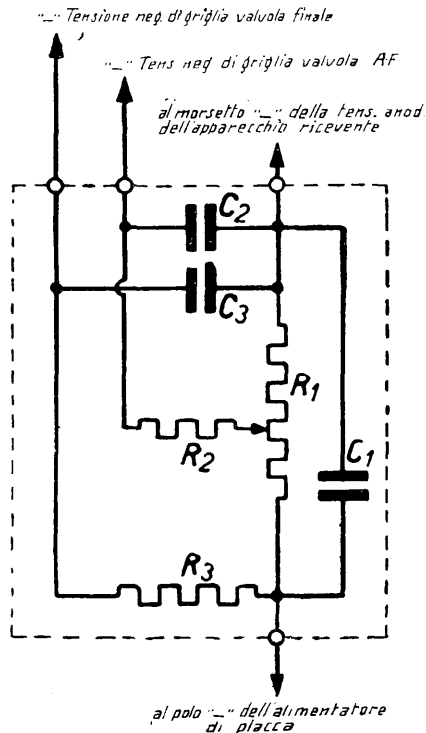
In pratica il problema è più complicato per il fatto che l'apparecchio ricevente non è la resistenza semplice alla quale noi l'abbiamo sostituito, per facilità dal lato della corrente continua. Poichè come appare dal montaggio della figura 80 un reostato è stato inserito nel conduttore negativo comune della tensione di placca di tutti i circuiti anodici delle differenti valvole, delle variazioni di tensione tra i morsetti di questo reostato provocheranno egualmente delle variazioni di tensione di griglia che produrranno così un innesco tanto violento dell'apparecchio ricevente da rendere impossibile qualsiasi audizione.

Si può prevenire quest'innesco cortocircuitando il reostato per le correnti alternate con un condensatore di 2 a 3 μF.

Fig. 82.

Qualche montaggio.

La fig. 82 mostra lo schema di principio di un apparecchio ausiliare che il dilettante potrà facilmente costruire egli stesso e che conviene praticamente a tutti gli apparecchi riceventi. Il valore dei diversi accessori è indicato nello schema di figura 83.

Per un consumo totale di corrente anodica di 20 mA si otterrà, con una resistenza R_1 di 800 ohm, una tensione di polarizzazione negativa di griglia di $0{,}02 \times 800 = 16$ V per la valvola di uscita. Questi valori sono press'a poco quelli desiderati per le valvole più comuni. La tensione negativa di griglia può dunque variare tra 0 e 16 V, si può per conseguenza regolare molto bene l'intensità sonora a mezzo di questo potenziometro poichè per una tensione di griglia di — 6 V la

valvola di alta frequenza non funziona già più. Le resistenze R_2 e R_3 e i condensatori C_2 e C_3 della figura 82 servono a livellare le pulsazioni della corrente di placca che potrebbero essere rimaste e che provocano un ronzio.

Il montaggio della figura 83 è favorevolissimo così che si può raccomandarlo in particolar modo. Il montaggio della figura 82 è essenzialmente lo stesso per ciò che riguarda la parte della tensione di griglia.

La figura 83 è lo schema di un apparecchio completamente alimentato in alternata con tensione di polarizzazione negativa di griglia.

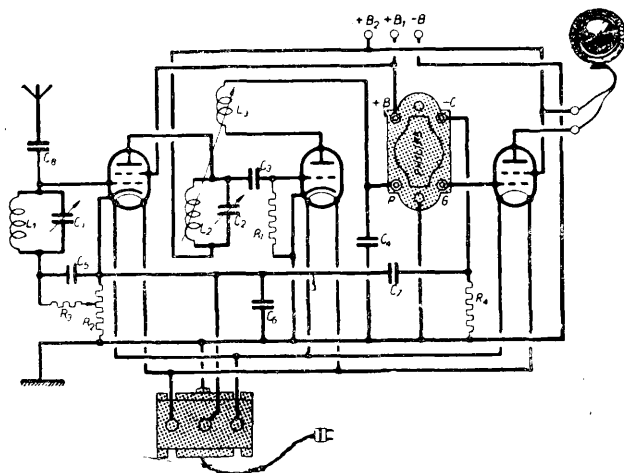



Fig. 83.

Valvole usate possono essere le Philips E 442, E 424 (o E 415) e C 443 (o B 443) o le Telefunken RENS 1204, REN 904, RES 164, o le Zenith SI 4090, CI 4090, DU 415 ecc. Una particolarità di questo schema è appunto la polarizzazione negativa automatica delle griglie delle valvole di A.F. e d'uscita.

Le resistenze, i condensatori ecc. hanno i valori seguenti:

C_1 =	500 μμF	C_5 =	1 μμF	R_1 =	1-2 megohm
C_2 =	500 »	C_6 =	3 »	R_2 =	800 ohm
C_3 =	150 »	C_7 =	1 »	R_3 =	0,1 megohm
C_4 =	1000 »	C_8 =	15-200 μμF	R_4 =	0,1 »

A titolo di esempio riportiamo ancora nella fig. 84 lo schema di un apparecchio completamente alimentato in corrente alternata. Nel rettangolo tratteggiato è racchiuso l'alimentatore con corrente di griglia ricavata dallo stesso circuito della corrente anodica.

Vediamo come si procede al calcolo degli organi componenti per ottenere le varie tensioni.

La corrente totale che deve erogare l'alimentatore consiste: *a*) nella corrente anodica delle tre valvole per dati valori

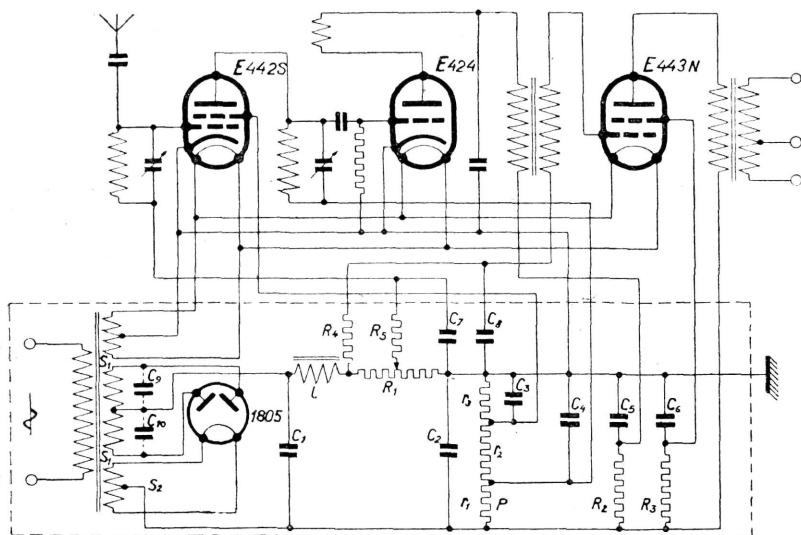



Fig. 84.

di tensione anodica, tensione di griglia schermo e tensione di polarizzazione di griglia; *b*) nella corrente di griglia schermo delle valvole schermate (nel nostro caso la *E* 442 *S* ed il pentodo *E* 443 *N*) e *c*) nel consumo del potenziometro *P* che noi adoperiamo in luogo di una resistenza, per la tensione di griglia schermo della valvola *E* 442 *S* per rendere più piccole possibili le oscillazioni di tensione su tale elettrodo.

Nel nostro caso, per i valori di tensione anodica, di griglia schermo e di griglia di controllo, consigliati dalla Casa costruttrice delle valvole, le correnti anodiche normali sono rispettivamente per la *E* 442 *S* di 2,5 mA, per la *E* 424 di 5 mA e per

la *E* 443 *N* di 30 mA ossia la corrente anodica totale sarà di 37,5 mA.

Le correnti di griglia schermo sono rispettivamente per la prima ed ultima valvola di 0,25 mA e 4,4 mA ossia in totale 4,65 mA. Il potenziometro va calcolato per un consumo di circa 4 volte la corrente di griglia-schermo cui fa capo ossia 1 mA c.a.

Si avrà perciò un consumo totale di corrente da parte della valvola dell'alimentatore (esclusa la corrente di accensione che viene fornita a parte) di 44 mAmp. circa.

Calcolo delle resistenze. — *Resistenza* R_1. — Questa resistenza inserita in serie nel lato negativo della corrente dell'alimentatore serve per ottenere, come abbiamo già spiegato, la tensione negativa di polarizzazione di griglia e va perciò calcolata per ottenere la tensione di polarizzazione massima che di solito è quella della valvola di uscita (nel nostro caso di 37 volt). La corrente che la attraversa è la corrente totale $i_t = 44$ mAmp. Cosichè questa resistenza avrà un valore di
$\frac{37}{0{,}044} = 850$ ohm.

Resistenza R_2. — La resistenza R_2 è invece derivata dal lato positivo dell'alimentatore. Essa perciò serve a procurare una caduta rispetto alla tensione massima la quale è nel nostro caso la tensione anodica del pentodo di uscita (400 volt) più la caduta procurata dalla resistenza del primario del trasformatore di uscita (circa 20 volt); essa dà la tensione anodica per la valvola rettificatrice (75 volt). La corrente che la attraversa è quella anodica di tale valvola (0,005 Amp) così che il suo valore sarà $R_2 = \frac{400 + 20 - 75}{0.005} = 70.000$ ohm circa.

Resistenza R_3. — Anche questa resistenza serve a procurare una caduta rispetto alla tensione massima (400 + 20 V) per ottenere la tensione necessaria per la griglia schermo della valvola di uscita (200 volt).

Essa sarà attraversata dalla corrente di questa griglia-schermo (4,4 mAmp) e quindi il suo valore sarà

$$R_3 = \frac{400 + 20 - 200}{0.0044} = 50\,000 \text{ ohm.}$$

R_4 ed R_5 sono delle resistenze di valore elevato (0,1 a 0,6 M Ω) che hanno il solo scopo di livellare eventuali pulsazioni delle griglie cui fanno capo.

Potenziometro P. — Vi sono due prese, una per la tensione anodica e l'altra per la griglia-schermo della valvola schermata di A.F. e resta perciò diviso in tre parti che calcoleremo separatamente.

La parte r_1 serve a procurare una caduta sulla tensione massima (400 + 20 volt) per ottenere la tensione anodica della valvola di A. F. (200 volt). Essa sarà attraversata dalla corrente anodica di tale valvola V, dalla corrente di griglia schermo della stessa valvola e dalla corrente per cui si è previsto il potenziometro ossia per un totale di $2{,}5 + 1 + 0{,}25 =$ $= 3{,}75$ mAmp e quindi sarà $r_1 = \frac{400 + 20 - 200}{0.00375} = 57{,}000$ ohm.

La parte r_2 serve a procurare una caduta sulla tensione anodica della valvola di A.F. (200 volt) già ottenuta con la resistenza r_1, per dare la tensione alla griglia-schermo della stessa valvola (60 volt). Essa sarà attraversata dalla corrente del potenziometro e da quella della griglia schermo cui fa capo.

$$\text{Sarà quindi} \quad r_2 = \frac{200 - 60}{0{,}001 + 0{,}00025} = 112.000 \text{ ohm.}$$

La parte r_3 rimanente ha agli estremi la tensione di griglia schermo già fornita da r_2 (60 volt) e sarà attraversata dalla corrente del potenziometro, sarà perciò

$$r_3 = \frac{60}{0{,}001} = 60.000 \text{ ohm.}$$

I condensatori sono:

$C_1 = 4 - 6$ μ F,
$C_2 = 4$ μ F,
C_3, C_4, C_5, $C_6 = 2$ μ F,
C_7, $C_8 = 1$ μ F. cad.

La bobina di livellamento $L = 20$ henry e deve essere calcolata per la corrente totale che la attraversa (nel nostro caso 44 mA).

QUALCHE CONSIGLIO.

Osservare una certa prudenza nella scelta delle resistenze e dei potenziometri; questi specialmente devono essere di preferenza a spire. La tensione negativa di griglia ottenuta può essere misurata con precisione a mezzo di un voltometro di una resistenza di 100 ohm/V.

TERZO METODO DI POLARIZZAZIONE.

Una maniera pratica ed ingegnosa per ottenere automaticamente questa polarizzazione di griglia consiste nell'utilizzare le oscillazioni prodotte da un triodo. Abbiamo visto che accoppiando il circuito di placca con quello di griglia di un triodo, questo entra in oscillazione. Le oscillazioni che si trasmettono dal circuito di griglia a quello di placca e da questo ritornano al circuito di griglia, vanno sempre crescendo e vengono limitate soltanto dal ginocchio superiore della caratteristica della valvola (saturazione), come mostra chiaramente la figura 85.

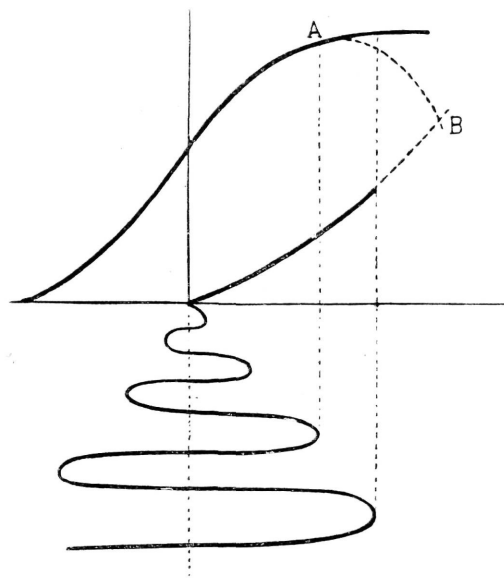



Fig. 85.

Perciò la corrente di placca non aumenta indefinitamente con la tensione di griglia, anzitutto perchè l'emissione elettronica del filamento è limitata ad un valore massimo relativo alla sua temperatura e poi perchè man mano che la corrente di placca aumenta, la carica spaziale, ossia, come abbiamo già visto, il numero di elettroni che si trovano in un dato istante tra il filamento e la placca, aumenta parallelamente neutralizzando una parte della carica positiva della placca. Ma vi è anche una terza causa che limita l'ampiezza delle oscillazioni ed è l'apparizione di

una corrente di griglia tanto più importante quanto più la tensione positiva di questo elettrodo è alta. Questa corrente di griglia che limita l'ampiezza delle oscillazioni di placca facendo incurvare la caratteristica di placca da A verso B, si può utilizzare per ottenere la tensione di griglia che si desidera. Notiamo subito che questa tensione non può essere molto elevata a causa appunto della curva discendente della caratteristica di placca da A verso B.

Se noi accoppiamo perciò i circuiti di placca e di griglia di un triodo, a mezzo di una bobina di placca L_2 (nido d'ape di 400 spire) e di un circuito oscillante di griglia costituito

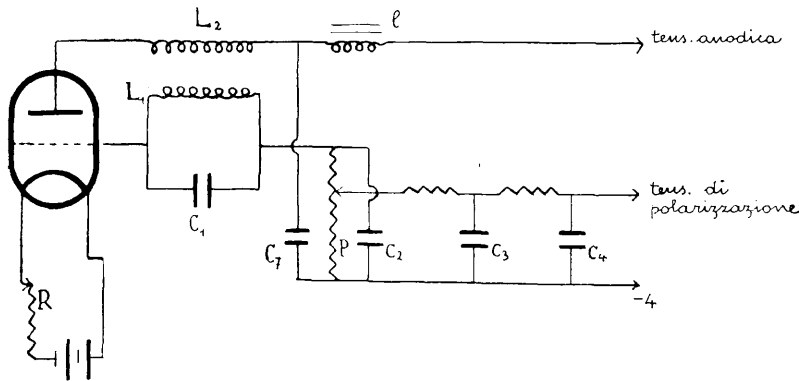



Fig. 86.

da una bobina L_1 (nido d'ape di 500 spire) ed un condensatore fisso C_1 (0,0005 ad aria), in questo circuito si produranno delle oscillazioni le quali andranno aumentando fino al massimo consentito dalla curva caratteristica e dagli altri fenomeni. che abbiamo ora visti.

Se in serie al circuito di griglia montiamo un potenziometro P per es. di 50000 ohm, la tensione raccolta agli estremi di questo potenziometro può essere utilizzata per la polarizzazione della griglia delle valvole di B.F. E' preferibile però filtrare ulteriormente questa tensione a mezzo di un circuito filtro costituito dalle resistenze R_1 e R_2 che possono essere di 80000 ohm circa ciascuna e dei condensatori fissi C_2, C_3, C_4 di 15 o 20 millesimi di μF.

Per evitare che le oscillazioni di placca generate da questa eterodina passino attraverso la sorgente di alta tensione, si

può fare uso di una bobina di choc L (100 spire di filo da 1/10) e per evitare che la corrente di alta tensione (che potrebbe essere quella di una batteria di placca) vada nel circuito di polarizzazione, si fa uso di un condensatore fisso C_7 di capacità relativamente alta (2 μF).

Invece di un solo circuito filtro agli estremi del potenziomento P se ne possono montare due come mostra la figura 87 ed allora si hanno due diversi valori di polarizzazione negativa di griglia.

Occorre osservare che quando si stabilisce questa tensione di polarizzazione agli estremi del potenziometro P, viene polarizzata anche la griglia dell'eterodina ed allora la valvola

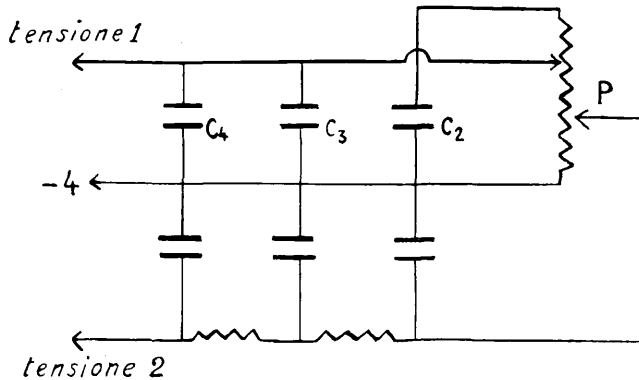



Fig. 87.

potrebbe cessare di oscillare per effetto di una eccessiva polarizzazione. Allora il condensatore C_2 si scarica nel potenziometro P, la griglia della valvola viene depolarizzata e le oscillazioni ricominciano. Si ha così un funzionamento intermittente che si riproduce con una frequenza che dipende dalla capacità C_2 e dalla resistenza P.

Per avere una stabilità occorre aumentare l'accoppiamento tra le bobine L_1 e L_2 o variare il condensatore C_1 o il condensatore C_2 o il potenziometro P.

Se l'apparecchio ricevente è alimentato dalla corrente alternata, si può ottenere la tensione di polarizzazione di griglia montando una valvola come diodo, cioè per es. cortocircuitando la griglia e la placca.

Agli estremi di un condensatore C si può connettere un

filtro come quello già visto, che ci dà la tensione di polarizzazione utilizzabile (figura 88).

In questo caso il potenziometro *P* non occorre che sia del valore elevato già visto, ma sarà sufficiente un potenziometro di 5000 ohm. Il trasformatore *T* può essere un trasforma-

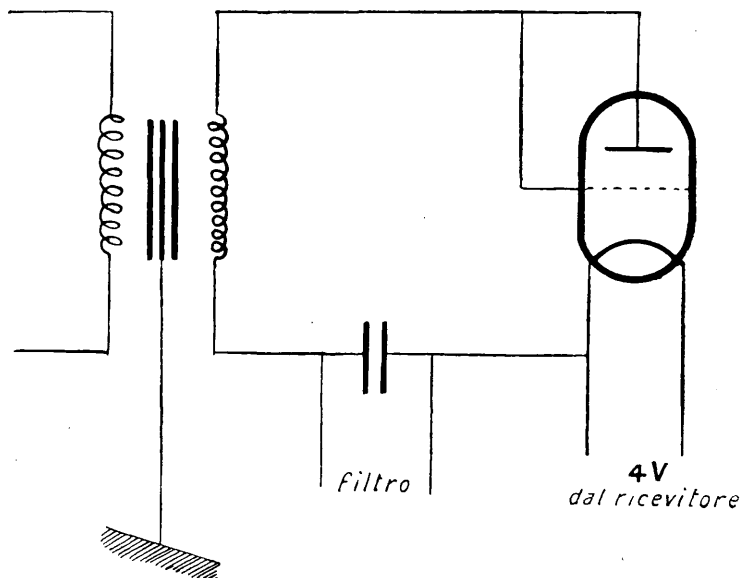



Fig. 88.

tore qualsiasi con rapporto 1 : 1 col primario shuntato da una resistenza.

Sorgente di energia per la tensione di placca.

Per la tensione di placca sono ormai da diversi anni in uso gli apparecchi che utilizzano la corrente alternata livellandola per renderla adatta all'alimentazione delle valvole usate. Questi apparecchi sono conosciuti sotto il nome di alimentatori di placca.

Chiunque si serviva di tensione anodica composta di elementi di pile a secco sa quali inconvenienti e quali sorgenti di noie queste fossero. Infatti:

1. Una batteria di pile per tensione anodica non conserva la sua tensione iniziale che per poco tempo; essa cade

rapidamente producendo dei rumori e dei ronzii perturbatori nell'audizione; inoltre invecchiando, la batteria causa una distorsione sempre crescente. Non soltanto le batterie hanno bisogno di essere rinnovate frequentemente, ma durante il loro uso esse forniscono una potenza sempre più debole così che la loro utilizzazione non dà realmente soddisfazione che per un periodo brevissimo.

2. La resistenza interna della batteria aumenta continuamente durante l'uso e ciò la rende inutilizzabile anche se la tensione ha ancora un valore relativamente alto.

3. Un corto circuito anche momentaneo, è causa di una riduzione notevole della durata di una batteria anodica.

4. Una batteria anodica deve essere sostituita ogni due o tre mesi e ciò porta ad una spesa notevole per gli apparecchi in uso attualmente che hanno bisogno di tensione anodica piuttosto elevata.

Anche le batterie di accumulatori usate per questa sorgente di energia non sono scevre d'inconvenienti:

1. La ricarica di queste batterie presenta talvolta grandi difficoltà se non si dispone di un raddrizzatore conveniente; si è obbligati a trasportarla in una stazione di ricarica cosa che non è sempre agevole.

2. Per essere certi che la batteria sia caricata in buone condizioni si è obbligati all'acquisto di un raddrizzatore di prima qualità e ciò aumenta ancora il costo dell'installazione.

3. La manutenzione di una batteria di accumulatori per tensione anodica richiede molta cura. I piccoli elementi debbono essere maneggiati da persone esperte.

4. La batteria di accumulatori per tensione anodica è molto ingombrante e si corre sempre il rischio di bruciare gli oggetti circostanti se si versa dell'acido solforico.

Gli alimentatori di placca eliminano tutti questi inconvenienti; la tensione anodica può essere regolata esattamente al valore necessario per le valvole di qualsiasi apparecchio ricevente. È inoltre possibile dare al detector, o se si vuole anche alle valvole amplificatrici, dei valori di tensione anodica differenti. Gli alimentatori di placca oggi sul commercio sono silenziosi grazie ad un filtro espressamente studiato sopprimente completamente il ronzio dovuto alla corrente alternata.

La figura 89 mostra lo schema di un alimentatore di placca e griglia del commercio.

La figura 90 ne mostra l'aspetto esterno.

Questo apparecchio si presenta sotto la forma di una scatola cubica. Le tensioni anodiche sono ottenute mediante

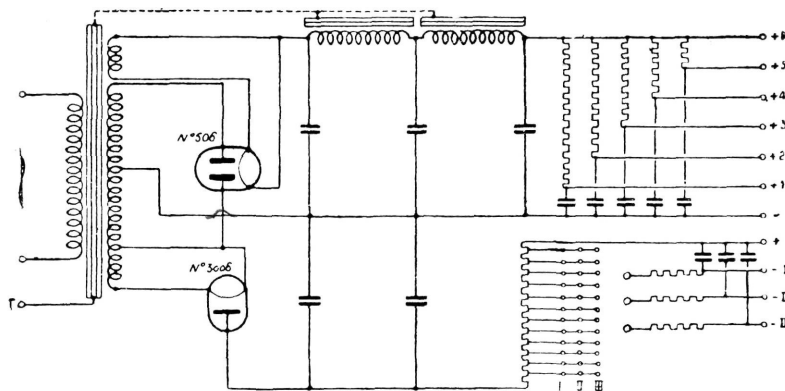



Fig. 89.

una valvola raddrizzatrice mentre quelle di griglia sono ottenute mediante un altra piccola valvola raddrizzatrice.

I contatti per le tensioni anodiche sono situati su una fila indicata *B* nella figura 91.

I fori segnati con + 1 a + 6 danno sei valori diversi di tensione anodica mentre che il foro marcato « — » è il polo negativo. La tensione anodica più elevata è quella che si ottiene

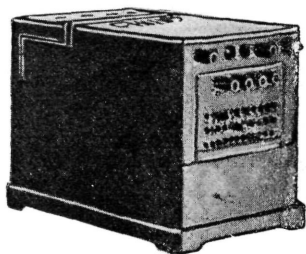
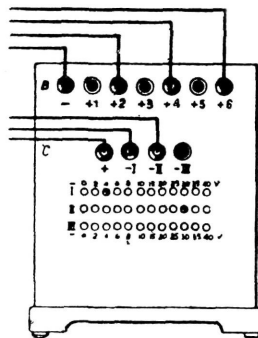



Fig. 90. Fig. 91.

tra i fori « — » e « + 6 »; una cifra più bassa corrisponde ad una tensione più bassa.

Quando il consumo totale di corrente anodica dell'appa-

recchio ricevente è conosciuto, le caratteristiche riprodotte nella fig. 92 permettono di determinare il valore della tensione tra i fori « — » e « + 6 ». Il consumo totale di corrente anodica può essere misurato a mezzo di un milliamperometro intercalato nel circuito tra il morsetto « — » e l'apparecchio ricevente. Supponendo che questo consumo totale di corrente sia di 30 mA si legge sul diagramma della figura 32 che il foro + 6 dà una tensione anodica di 150 V. Per un consumo di corrente più debole questa tensione si eleva. Al contrario per un consumo più forte essa si abbassa.

Le tensioni anodiche V_1 a V_5 dei fori + 1 a + 5 si calco-

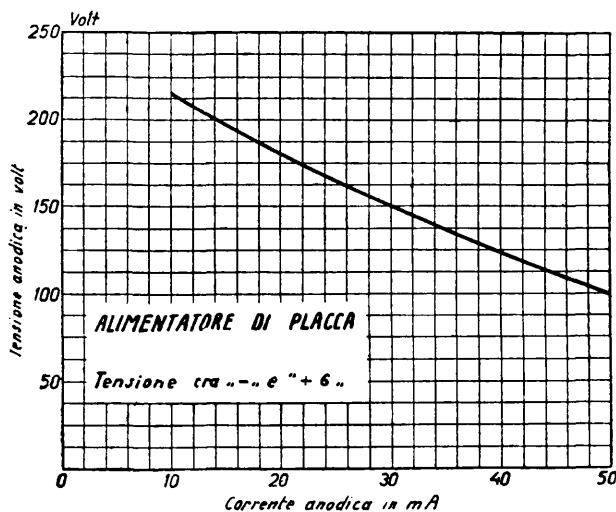



Fig. 92.

lano a partire dalla tensione conosciuta del foro + 6 e dalla corrente erogata da ciascuno dei fori + 1 a + 5 nella maniera che abbiamo già visto a pag. 110 applicando la legge di Ohm. Praticamente, chiamando queste correnti con i_1, i_2 i_3, i_4 e i_5, misurate in mA, si ottiene:

$$V_1 = 0{,}6\ V_6 - 40\ i_1$$
$$V_2 = V_6 - 40\ i_2$$
$$V_3 = V_6 - 15\ i_3$$
$$V_4 = V_6 - 8\ i_4$$
$$V_5 = V_6 - 9\ i_5$$

Esempio: Quando il consumo totale di corrente anodica di un apparecchio è per es. di 30 mA il contatto + 6 dà, come si ricava dalla caratteristica di figura 92, una tensione di 150 V. Se in queste condizioni il contatto + 3 eroga per es. una corrente anodica di 6 mA la tensione tra i contatti « — » e + 3 sarà $V_3 = 150 - 15 \times 6 = 60$ V. Poichè l'alimentatore di placca descritto è fornito di 6 tensioni anodiche diverse è sempre possibile trovare per tentativi le tensioni più favorevoli necessarie per un dato apparecchio e che di solito non sono mai più di 3.

TENSIONE DI POLARIZZAZIONE DI GRIGLIA.

I contatti per la tensione di polarizzazione di griglia nell'apparecchio della fig. 91, sono rappresentati dalla fila indicata con *C*.

I contatti segnati — I, — II e — III permettono di ottenere simultaneamente una tensione di polarizzazione differente mentre che il contatto segnato « + » è il polo positivo comune. La tensione di ognuno dei contatti segnati — I, — II e — III può essere regolata a uno dei 12 valori negativi seguenti: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 V.

Nella parte inferiore dello schema di figura 89 si vede facilmente come sono ottenute queste varie tensioni di polarizzazione.

Le tensioni di polarizzazione sono indipendenti dalla corrente anodica consumata; esse conservano perciò sempre il loro valore qualunque siano le condizioni di funzionamento dell'apparecchio ricevente.

La figura 93 mostra lo schema elettrico di un altro tipo di alimentatore di placca nel quale la tensione di polarizzazione di griglia non è indipendente dalla corrente anodica consumata.

Da questa figura appare che le tensioni negative sono prodotte per caduta di tensione in una resistenza intercalata sul ritorno di placca delle valvole riceventi.

In questo alimentatore le tensioni di griglia sono 3, — I, — II e — III. La tensione del contatto della presa — III è fissa mentre quella delle prese — I e — II può essere regolata a 10 valori differenti. Per la corrente anodica totale di 20 mA la tensione di griglia della presa — III è fissa di 20 V e quella

delle prese — I e — II può assumere i seguenti valori: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 15 e 20 V.

Per le altre intensità di corrente anodica si può trovare

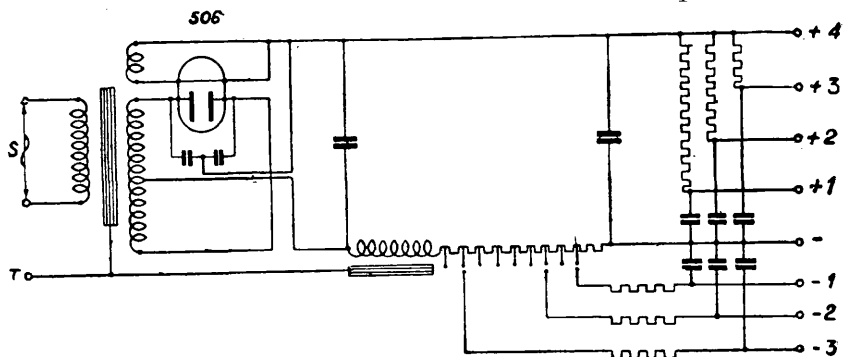



Fig. 93.

praticamente il valore esatto della tensione negativa di griglia moltiplicando il numero figurante a lato della presa corrispon-

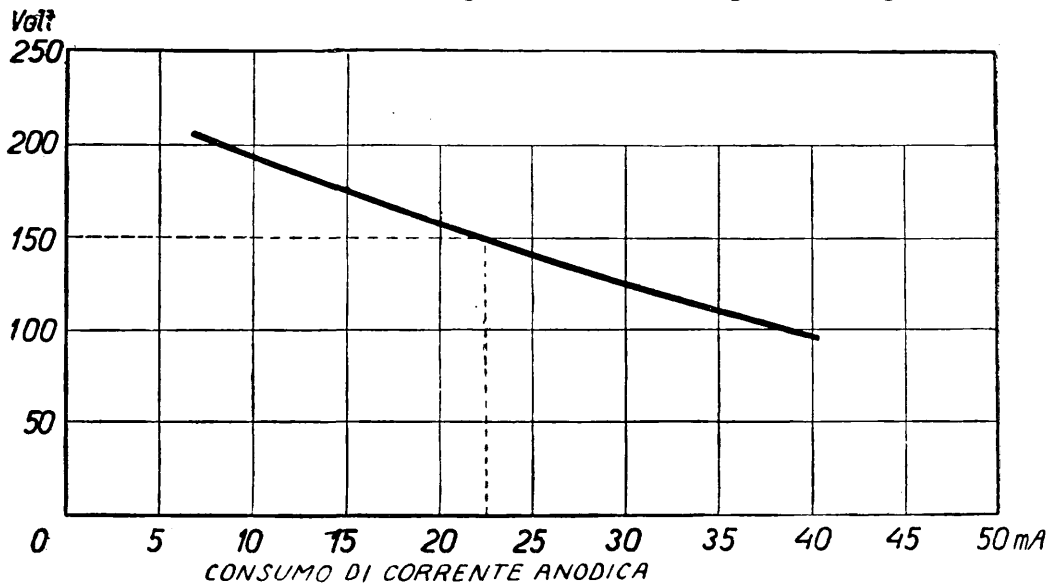



Fig. 94.

dente per l'intensità della corrente anodica consumata e dividendo il risultato per 20.

Per es. se l'erogazione totale è di 22 mA la tensione nella

presa 15 sarà di 22 × 15 : 20 = 16,5 Volt. La figura 94 permette di ricavare la tensione anodica erogata dalla presa + 4 in funzione del consumo totale di corrente anodica.

Se questa corrente totale e per es. di 22 mA si vede come la tensione che si può ottenere è di 150 V. Determinata questa tensione tra le prese + 4 e « — » si può determinare la tensione delle altre 3 prese + 1, + 2, + 3. L'intensità di corrente erogata da ognuna di queste prese può venir misurata a mezzo di un milliamperometro inserito sul conduttore che entra in ognuna di tali prese.

$$V_1 = 0{,}4 \times V_4 - 25 \times i_1$$
$$V_2 = 0{,}75 \times V_4 - 12 \times i_2$$
$$V_3 = V_4 - 8 \times i_3$$

Prima di chiudere questo capitolo dell'alimentazione anodica delle valvole a mezzo della corrente alternata vogliamo riportare alcune misure che si possono fare sugli alimentatori di placca comunemente usati, misure che spesso i dilettanti non fanno correttamente.

Uso di un voltometro.

Spesso si misura la tensione ai morsetti degli alimentatori di placca a mezzo di un voltometro ordinario del commercio che presenta una debole resistenza interna e quindi un notevole consumo di corrente.

Le indicazioni avute in questo caso sono sempre false poichè la caduta di tensione negli alimentatori di placca è notevole a causa delle forti resistenze messe in circuito. Tra i morsetti « — » e « + » si leggerà una tensione notevolmente inferiore a quella utilizzata.

Uso di un milliamperometro.

Il miglior metodo per determinare l'intensità che l'alimentatore di placca fornisce alle valvole, consiste nell'uso di un milliamperometro in serie col filo negativo della tensione anodica. Questo strumento indicherà allora la corrente anodica totale assorbita dall'apparecchio ricevente la quale permette di trovare approssimativamente la tensione anodica erogata e mezzo dei diagramma riportati nelle figure precedenti.

Capitolo XII.

Cenni costruttivi sui triodi

Consideriamo il tipo più semplice di triodo con l'anodo costituito da una placca cilindrica che racchiude la griglia sotto forma di spirale cilindrica concentrica ed il filamento F rettilineo (fig. 95).

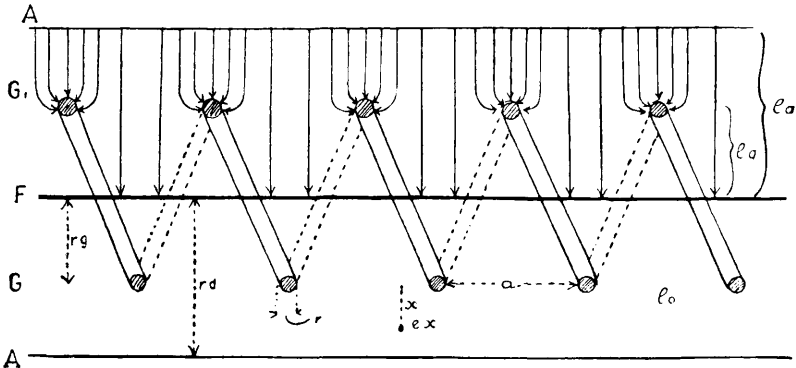



Fig. 95.

Siano r_a ed r_g i raggi dei due cilindri di placca e di griglia, ed e_a ed e_g rispettivamente i potenziali sulla placca e sulle spire di griglia.

Sia Q la carica elettrica distribuita, per unità di lunghezza, sulla placca.

Facciamo ora l'ipotesi semplificativa che la carica elettrica per unità di superficie distribuita sulla griglia . q, poichè la

distanza a è di solito molto piccola, sia eguale a Q, allora possiamo scrivere

$$Q = \frac{2 \,.\, \pi \,.\, r_g \,.\, q}{a}$$

I due cilindri di placca e di griglia costituiscono un condensatore. Se chiamiamo con e_o il potenziale medio sul cilindro di griglia è noto che

$$e_a - e_o = -2\, Q \log \frac{r_p}{r_g} = \frac{-4\pi\, r_g\, q}{a} \log \frac{r_p}{r_g} \qquad (1)$$

Ora è anche noto che il potenziale in un punto distante x da una spirale portante la carica q e con distanza a tra spira e spira è dato da

$$e_x = -2\, q \log 2 \operatorname{sen} \frac{\pi\, x}{a} + \text{cost}$$

e quindi il potenziale e_g sulla superficie dei fili di griglia sarà

$$e_g = -2\, q \log.\, 2 \operatorname{sen} \frac{\pi\, r}{a} + e_o$$

dove r è il raggio dei fili di griglia e se $\frac{\pi\, r}{a}$ è abbastanza piccolo, si può scrivere

$$e_g - e_o = -2\, q \log \frac{2\, \pi\, r}{a}$$

od anche

$$e_o - e_g = -2\, q \log \frac{a}{2\, \pi\, r} \qquad (2)$$

Dalle (1) e (2) si ricava

$$\frac{e_a - e_o}{e_o - e_g} = \frac{2\, \pi\, r_g}{a} \cdot \frac{\log \frac{r_p}{r_g}}{\log \frac{a}{2\, \pi\, r}}$$

Chiamiamo con K questa espressione, allora si ha:

$$e_o = \frac{e_a + K\, e_g}{1 + K}$$

Si dimostra facilmente che l'espressione K non è altro che il coefficiente di amplificazione della valvola e ponendo il numero di spire di griglia per centimetro

$$\frac{1}{a} = N$$

si ha:

$$K = \pi\, N\, d_g \frac{\log \dfrac{d_a}{d_g}}{\log \dfrac{1}{\pi\, N\, d}}$$

dove d_a, d_g e d sono rispettivamente i diametri del cilindro di placca, del cilindro di griglia e del filo di griglia.

Esempio 1. — Consideriamo una valvola della tabella di fig. 12, per es. la valvola tipo E. Essa presenta i seguenti dati:

Placca	d_a	= 0,85 cm.
lunghezza	l	= 1,6 cm.
Griglia	l	1,9
	d_g	= 0,5 cm.
	$N \times l$	= 11 (N = circa 6)
	d	= 0.03

Si ricava:

$$K = 3{,}14 \times 6 \times 0{,}5 \times \frac{\log \dfrac{0.85}{0.5}}{\log \dfrac{1}{3.14 \times 6 \times 0.03}} =$$

$$= 9.42 \times \frac{\log 1.70}{\log 1.78} = 9{,}42 \times \frac{0.230}{0.225} = 9.61$$

Il coefficiente di amplificazione di questa valvola è esattamente 10.

Esempio 2. I dati di una lampada Mètal, già costruita, sono i seguenti:

Placca di nichel	l	= 1,5 cm.
	d_a	= 1 cm.

$$
\begin{aligned}
\text{Griglia in nichel } l &= 1{,}9 \text{ cm.} \\
d_g &= 0{,}4 \text{ cm.} \\
N \times l &= 11 \\
a &= 0{,}17 \\
d &= 0{,}03
\end{aligned}
$$

Si ha:

$$K = 3{,}14 \times 6 \times 0{,}4 \times \frac{\log \dfrac{1}{0{,}4}}{\log \dfrac{1}{3.14 \times 6 \times 0.03}} =$$

$$= 7{,}5 \times \frac{\log 2{,}5}{\log 1.78} = 7{,}5 \times 1{,}76 = 13 \text{ circa.}$$

Per il costruttore, naturalmente, ha maggiore interesse ricavare qualche dato costruttivo una volta fissato il valore di K in relazione alla funzione che la valvola deve esplicare (AF, D, BF od O). Calcolate queste dimensioni si controlla se con questi valori, la valvola ha la pendenza voluta dalla caratteristica ed espressa, come sappiamo, da

$$S = \frac{3}{2} \times 1 . 465 \times 10^{-5} \times \frac{l}{r} \times \sqrt{e_r}$$

dove $e_r = e_g + De_a$ è la « tensione risultante » già vista.

In pratica però si fa più spesso uso della formula approssimata

$$S = \frac{0.7\, i_s - 0.5\, i_s}{V_g'' - V_g'}$$

dove i_s è la corrente di saturazione e v_g'' e v_g' sono i valori della tensione di griglia corrispondenti ai valori 0,7 i_s e 0.5 i_s.

Se la verifica non è soddisfatta converrà ritoccare i_s variando le dimensioni del filamento fino ad avere la pendenza voluta.

Per i triodi trasmittenti entrano in gioco altre considerazioni che non riteniamo sia il caso di riportare in questi brevi cenni.

Fabbricazione.

Circa la fabbricazione delle Valvole Termoioniche daremo un breve cenno sopratutto per ciò che riguarda i mezzi usati per ottenere il più alto grado di vuoto ed i materiali impiegati.

Nelle valvole termoioniche, escluso il caso di alcune valvole raddrizzatrici e di alcune valvole speciali in cui, per il funzionamento, è necessaria la presenza di un gas inerte, le più piccole tracce di gas sono dannosissime per diverse ragioni. Esse infatti:

a) per effetto della « ionizzazione » che si viene a produrre, come abbiamo accennato nelle prime pagine di questo volume, si viene a creare una corrente inversa di ioni positivi ed una, nello stesso senso, di elettroni le quali alterano il valore della corrente elettronica emessa dal catodo e diminuiscono la resistenza interna della valvola;

b) a causa del bombardamento del catodo da parte dei joni positivi, il catodo si disintegra e dura di meno.

Dai fenomeni *a*) e *b*) ne deriva una irregolarità della curva caratteristica che compromette il regolare funzionamento della valvola.

Per eliminare queste tracce di gas non basta ottenere il vuoto con le pompe più perfezionate, ma occorre che tutti i materiali racchiusi nell'ampolla e l'ampolla stessa siano « degassificati ». Tutti i corpi solidi infatti contengono « occlusa » una certa quantità di gas la quale viene emessa ad una certa temperatura. Per degassificare allora i materiali della valvola basterà dilatare queste molecole di gas col riscaldamento nel vuoto. Uno dei sistemi molto adoperato per la degassificazione della placca e della griglia è il riscaldamento « per induzione ». Una bobina percorsa da una intensa corrente di alta frequenza circonda l'ampolla ed induce negli elettrodi, delle intense correnti parassite che li riscaldano fino a temperature altissime.

Anche col riscaldamento nel vuoto non si riesce però a degassificare completamente i materiali della valvola ed allora, per il regolare funzionamento, occorre fare uso di materiali che non assorbano facilmente i gas come il nichel, nichel-cromo, molibdeno, tungsteno ed occorre evitare il riscaldamento eccessivo provvedendo ad opportuna refrigerazione.

I vetri usati per l'ampolla di una valvola termoionica debbono essere scelti in maniera da presentare le minime quantità di gas occluso e da resistere alle alte temperature cui vengono portati per la degassificazione (400° circa).

Più convenienti sarebbero le ampolle di quarzo o « pyrex » (vetro quarzoso) a punto di fusione molto elevato ed a piccole tracce di gas occluso, ma il loro costo risulta troppo elevato.

Inoltre questi vetri debbono presentare un alto grado di isolamento onde evitare effetti di dispersione tra gli elettrodi.

Per degassificare il vetro delle ampolle, dopo accurata pulitura esterna con soluzione alcoolica di acetone, si sottopongono i palloncini a riscaldamento in apposito forno fino a 400° a 600° (secondo la qualità di vetro).

Tale degassificazione non è però assoluta ed occorrerà sempre, durante il funzionamento preoccuparsi di evitare un eccessivo riscaldamento.

Per ottenere il vuoto più spinto nelle valvole termoioniche si ricorre alle pompe più perfezionate. Mentre sono ancora in uso le pompe a stantuffo per il « vuoto preliminare » si fa uso delle così dette pompe a vapore di mercurio per il vuoto spinto; molto in uso è oggi la « pompa a condensazione » di Langmuir per lo studio della quale rimandiamo ai trattati speciali.

Con queste pompe si raggiunge un vuoto fino a 1 centomilionesino di mm. di mercurio il quale viene ulteriormente perfezionato con i procedimenti noti col nome di « *vuoto chimico* ».

Uno di tali metodi sfrutta il forte *potere assorbente* che presenta il carbone di legna o, meglio, quello derivato dalle nocciole quando viene portato a temperature bassissime (—180° *C.*). A tal uopo si immerge questo carbone in una vaschetta di aria liquida messa in comunicazione con l'interno della valvola, tra la valvola e la pompa.

Ma oltre al carbone, altri corpi come il vetro in polvere, l'alluminio, il palladio ecc. portati a bassissime temperature come quella dell'aria liquida, acquistano la proprietà di assorbire le più piccole tracce di gas (idrogeno, ossigeno, vapor. d'acqua).

Questi metodi ed altri speciali che costituiscono segreti di fabbricazione delle Case Costruttrici, sono in uso per ottenere un grado di vuoto altissimo.

Ma una volta costruita la valvola, con i procedimenti di

vuotatura così perfezionati, si procede ad un ulteriore assorbimento di eventuali tracce di gas a mezzo dei così detti « getter » ossia di sostanze che producono, ancora per azione chimica, l'assorbimento delle particelle gassose.

Uno studio approfondito di tale tecnica ci porterebbe troppo lontano. Diremo solo che, tra i vari metodi in uso, il più diffuso, specialmente per le valvole riceventi, consiste nel fissare sulla placca o su di un apposito sostegno, un piccolo filo di magnesio che viene portato all'incandescenza quando si produce il riscaldamento della placca per la degassificazione.

Il magnesio volatilizza a 800° assorbendo le più piccole tracce di gas. Esso forma con l'ossigeno, l'ossido di magnesio e con l'azoto, l'azoturo di magnesio, composti solidi. L'eccesso di magnesio si deposita sulle pareti fredde dell'ampolla costituendo quella superficie argentata caratteristica delle valvole termoioniche riceventi.

Altro « getter » usato è il fosforo a causa del suo alto potere igroscopico e della sua azione assorbente sopratutto sull'idrogeno.

Se la sua volatilizzazione non è troppo spinta esso non colora che leggermente le pareti di vetro così che si possono sorvegliare gli elettrodi interni. Per questa ragione è più specialmente adoperato per le grosse valvole trasmittenti.

Capitolo XIII.

Le valvole schermate

Di tutti i problemi che esistono in materia di radiotelefonia il più importante, come abbiamo già visto precedentemente, è quello che riguarda l'amplificazione delle correnti di alta frequenza comprese tra 10^2 e 10^4 kilocicli.

Questo interesse sta nel fatto che l'amplificazione di alta frequenza è realmente il solo procedimento conveniente che permette la ricezione di stazioni estere.

Solo qualche anno fa la maniera di accoppiare la valvola amplificatrice alla valvola detectrice consisteva usualmente in un semplice circuito accordato.

Utilizzando delle bobine ad alta resistenza di alta frequenza e connettendo l'antenna direttamente alla griglia della valvola in maniera da provocare uno smorzamento supplementare, questo montaggio funzionava abbastanza bene.

L'uso di bobine a debolissima perdita in questo montaggio, non è interessante poichè malgrado un blindaggio accuratissimo e un'indipendenza assoluta dei due circuiti dal punto di vista magnetico, lo stadio di A. F. è sempre molto instabile e oscilla appena i due circuiti sono sintonizzati.

Questo fatto è dovuto alla capacità interna griglia-placca della valvola.

Infatti consideriamo la valvola rappresentata nella figura 96 e supponiamo che la griglia sia resa successivamente posi-

tiva e negativa mediante l'applicazione di un certo potenziale alternato di A. F. Possiamo facilmente renderci conto della maniera come nascono le oscillazioni nocive.

In un dato momento, quando la griglia è positiva, il numero di elettroni che essa attira aumenta e lo stesso avviene per il numero di elettroni attirati dalla placca la quale è perciò resa meno positiva visto che la carica apportata dal flusso elettronico è negativa.

A causa del campo elettrostatico esistente tra la placca e la griglia apparirà su di questa una carica eguale e di senso contrario, quindi positiva.

Se il potenziale iniziale applicato alla griglia è negativo

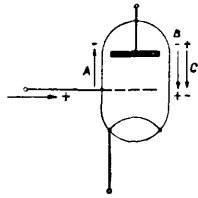
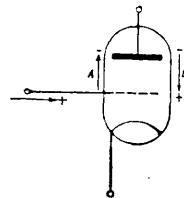



Fig. 96. Fig. 97.

ha luogo la stessa successione di fenomeni e la placca provoca l'apparizione sulla griglia di una carica negativa.

Così in ogni momento il campo elettrostatico esistente tra la placca e la griglia provoca un aumento della tensione del segnale iniziale applicato alla griglia ed il risultato è che se questa non è frenata da qualche procedimento, la tensione di questo segnale raggiunge rapidamente il più grande valore permesso dalle caratteristiche della valvola; in altre parole lo stadio oscilla rendendo impossibile ogni audizione.

Neutrodina.

Si può annullare l'effetto del campo elettrostatico provocando sulla griglia una variazione di tensione uguale ma di senso contrario (figura 97).

Questo procedimento è conosciuto col nome di « neutrodina » ed è realizzato praticamente sotto la forma di un condensatore variabile secondo lo schema adottato, permettente la regolazione dell'*ampiezza* della tensione anodica.

La tensione *inversa* necessaria può essere prodotta da una dozzina di circuiti di cui le figure 98, 99, 100 e 101 rappresentano alcuni tipi.

Questi schemi sono praticamente equivalenti perchè sono basati sullo stesso principio: una bobina alimentata per es. per induzione, possiede ai suoi due estremi delle tensioni

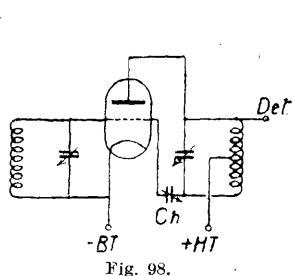
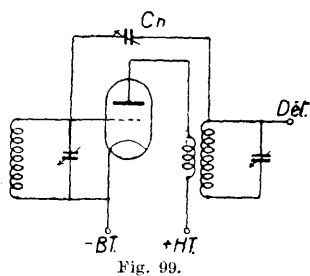



Fig. 98. Fig. 99.

in opposizione (figura 102) riportate sulla griglia a mezzo di un neutro condensatore (C_n).

Prendiamo il caso di uno stadio neutrodina composto di una valvola di A. F. e di un circuito accordato.

Ci proponiamo di stabilire quale è l'amplificazione per uno stadio di A. F. (amplificazione della valvola moltiplicata per amplificazione del sistema di accoppiamento).

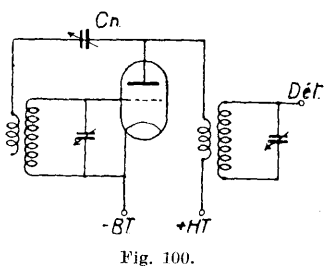
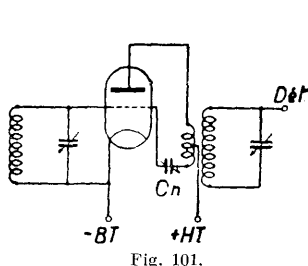



Fig. 100. Fig. 101.

Se la resistenza interna della valvola è relativamente debole, useremo il sistema di accoppiamento a trasformatore con secondario accordato.

Il rapporto n (spire secondarie / spire primarie) del trasformatore necessario è dato dalla formula:

$$n = \sqrt{\frac{Z}{R_i}}$$

dove:

Z = resistenza dinamica del circuito accordato

$$Z = \frac{L}{C \, . \, r}$$

L = coefficiente di self-induzione della bobina.
C = capacità del condensatore di accordo.
r = resistenza A.F. della bobina.
R_i = resistenza interna della valvola.

Alcune misure effettuate su una buona bobina ci hanno dato:

L = 190 microhenry.
r = 4,2 ohm.

(52 spire di filo di rame 6/10 di mm., 2 strati di seta, bobinate su un tubo di bachelite di 40 mm. circa).

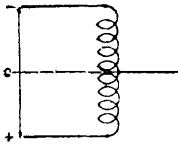



Fig. 102.

Sia la resistenza interna della valvola usata, di 20.800 ohm.

La capacità d'accordo disposta in parallelo sulla bobina è regolata in maniera che la capacità totale sia di 0,0002 μF.

La resistenza dinamica è in queste condizioni:

$$Z = \frac{190}{0{,}0002 \times 4{,}2} = 227000 \; ohm$$

Il rapporto di trasformazione è:

$$n = \sqrt{\frac{227000}{20800}} = 3{,}3$$

e l'amplificazione per stadio: K_{st} = circa $\frac{1}{2}$ $K \times n = 41.25$

dove K è il coefficiente di amplificazione della valvola = 25.

È evidente che una tale amplificazione è raramente raggiunta in pratica poichè la perdita nei dielettrici del condensatore e nello zoccolo della valvola detectrice lo impediscono.

In conclusione la neutrodina non sopprime la capacità interna della valvola, ma la neutralizza.

La difficoltà di realizzazione e di regolazione fanno pre-

ferire a questo sistema il montaggio di valvole speciali che vedremo in seguito.

Valvole a capacità ridotta.

Alcuni costruttori misero sul mercato fin dal 1927 una valvola speciale per amplificazione ad A.F. nella quale il campo elettrostatico tra la placca e la griglia è ridotto in forti proporzioni (fig. 103).

In altri termini la capacità griglia-placca, che è come abbiamo visto di circa 2,5 cm. per una valvola normale, è ridotta a 0,3 cm., e questo permette la soppressione dei delicati procedimenti di « neutrodina ».

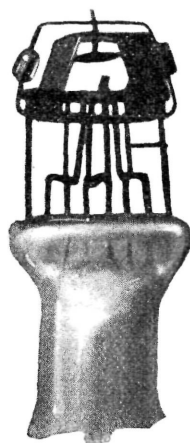
Fig. 103.

Questa valvola ricevente in connessione col circuito accordato già visto nell'esempio precedente permette teoricamente un'amplificazione di 49 per stadio.

Tuttavia praticamente questo coefficiente non può essere raggiunto senza pericolo d'innesco poichè la capacità residua per quanto piccola, diviene in queste condizioni sufficiente per permettere un ritorno di energia dal circuito anodico al circuito di griglia e quindi fare oscillare lo stadio.

Per diminuire questa amplificazione non vi è che una buona soluzione: aumentare n (diminuire il numero di spire del primario), ciò che ha il vantaggio, pur rendendo lo stadio più stabile, di aumentare la selettività, poichè diminuendo il numero di spire del primario l'accoppiamento primario-secondario è più debole.

Un'altra soluzione disgraziatamente usata dalla maggior parte dei dilettanti e costruttori consiste nell'utilizzare un circuito accordato a più forte resistenza di alta frequenza, lasciando n sensibilmente costante.

Questa soluzione è da sconsigliare poichè allora la selettività diventa cattivissima.

Valvole schermate.

Nel 1928 apparve sul mercato un altro tipo di valvola speciale per amplificazione di alta frequenza nella quale la diminuzione della capacità griglia-placca è stata realizzata non più con una ingegnosa disposizione degli elettrodi, come nel caso della valvola precedentemente vista, ma con l'inserzione di un quarto elettrodo tra la griglia di controllo e la placca.

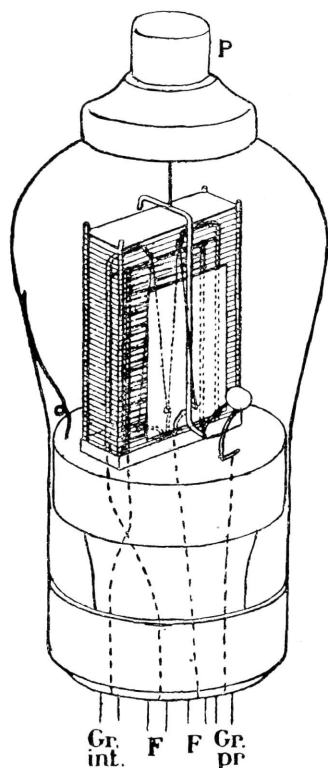



Fig. 104.

Ciò che segue ci permette una rapida comprensione del principio sul quale si basa questa nuova valvola.

Consideriamo due placche metalliche (figura 105) A e B considerando A come la placca e B come la griglia di controllo. Sotto l'effetto della differenza di potenziale applicata a queste placche a mezzo di una sorgente qualsiasi, A, caricata positivamente fa apparire sulla faccia superiore di B una carica eguale e di senso contrario (eguale supponendo che il condensatore così formato sia rigorosamente senza perdite). Lo stesso effetto accade in un triodo: quando la placca diventa più positiva sotto l'effetto della tensione negativa di un segnale, la griglia sotto l'influenza delle linee di forza emananti dalla placca, è resa ancora più negativa.

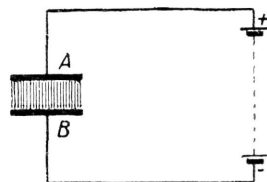



Fig. 105.

Introduciamo ora tra A e B una terza placca E isolata avente la stessa funzione dell'elettrodo ausiliario (figura 106).

La placca A, nelle stesse condizioni già viste, fa apparire sulla faccia superiore di E una carica negativa. La faccia infe-

riore di questa placca diventa positiva così che per induzione elettrostatica *B* viene caricata negativamente.

Tutto procede quindi come se la carica negativa di *B* fosse prodotta direttamente dalle linee di forza emananti da *A*.

Colleghiamo adesso la placca *E* alla terra (figura 107).

La carica positiva prodotta da *A* sulla faccia inferiore di *E* si disperde immediatamente verso la terra e *B* non è più sottomessa all'azione delle linee di forza provenienti da *A*.

Noi vediamo così che a mezzo di questo piccolo artifizio la capacità *A B* è stata annullata. Questo è il principio fondamentale sul quale è basato il funzionamento della valvola a griglia-schermo.

È evidente che se si dispone una placca metallica fra la griglia di controllo e la placca della valvola si ottiene come

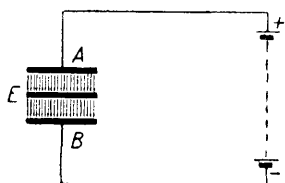
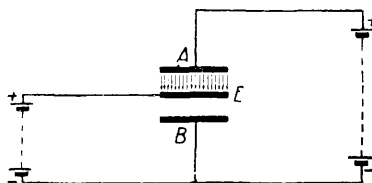



Fig. 106. Fig. 107.

effetto la soppressione totale del flusso elettronico filamento-placca.

Allora invece di utilizzare uno schermo pieno si usa una griglia a maglie molto strette, la quale costituisce uno schermo statico per le tensioni superficiali ma lascia passare, a causa della velocità acquistata, gli elettroni emessi dal filamento.

Questo modo di costruzione lascia sussistere un campo elettrostatico minimo, così che la capacità interna della valvola è dell'ordine di 0,01 a 0,025 cm.

Appare chiaro però come il risultato ottenuto può venire completamente annullato se si lascia sussistere all'esterno della valvola un qualsiasi accoppiamento tanto capacitivo quanto magnetico.

È necessario, per evitare ciò, schermare almeno uno dei due circuiti accordati, e ciò si realizza praticamente disponendo uno dei due circuiti in una gabbia di Faraday.

Curve caratteristiche.

Praticamente la griglia-schermo non è connessa direttamente alla terra o più esattamente al punto medio del filamento; un condensatore di grande capacità collegato da una parte alla griglia-schermo e dall'altra parte a questo filamento, permette alla prima di essere portata ad un potenziale positivo da una sorgente qualsiasi, rimanendo tuttavia nullo il suo potenziale di A. F.

Le caratteristiche sono profondamente e vantaggiosamente modificate da questo procedimento di polarizzazione della griglia-schermo.

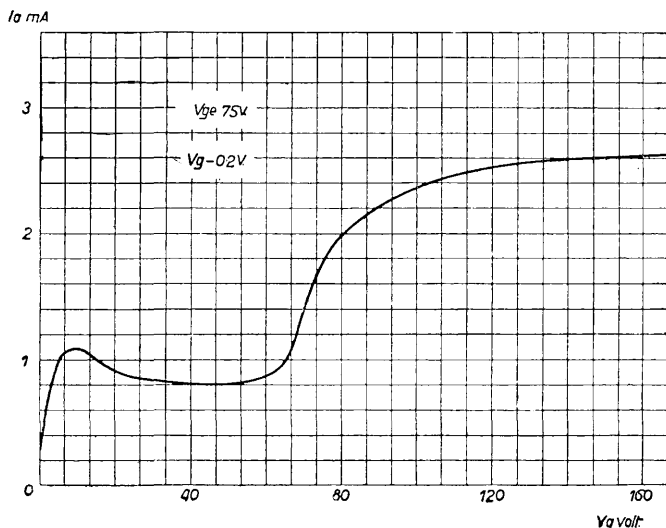



Fig. 108.

Con un potenziale $V_{gs} = 75\ V$ e $V_g = -\ 0{,}2\ V$ quando $V_a = 0$ la griglia-schermo si comporta come una placca e assorbe 2 mA circa.

A mano a mano che V_a aumenta (figura 108) appare una corrente anodica I_a che aumenta egualmente, così che la corrente di griglia-schermo I_{gs} diminuisce (rimanendo costante l'emissione elettronica totale); quando $V_a = 10\ V$, I_a raggiunge 1,1 mA.

Aumentando V_a al di sopra di 10 V si constata che I_a

diminuisce: la valvola possiede dunque in questo punto una *resistenza negativa.*

Questa è dovuta ad una *emissione secondaria* della placca: infatti qualsiasi massa bombardata da un flusso elettronico libera a sua volta un certo numero di elettroni detti *secondari.* La stessa cosa avviene per la placca di una valvola termoionica.

In un triodo questa emissione secondaria è riassorbita dalla placca essendo respinta dalla griglia di controllo che è negativa; dunque come se questa emissione non avesse luogo.

Al contrario in una valvola a griglia-schermo l'emissione secondaria della placca è assorbita dallo schermo che viene portato a + 75 V; ne risulta una diminuzione di I_a a vantaggio di I_{gs} (fig. 109).

Quando V_a è uguale a 75 V, I_a aumenta a detrimento di I_{gs} questa volta.

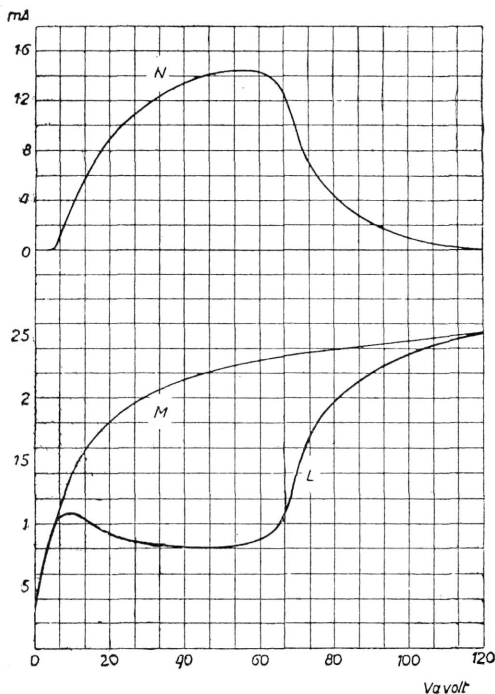



Fig. 109.

L rappresenta la caratteristica reale, *M* quella supponendo assente il fenomeno di resistenza negativa ed *N* la emissione elettronica secondaria della placca sulla griglia schermo. Si può vedere che $L = M - N$.

La spiegazione di questo fenomeno è che il flusso elettronico che attira la griglia-schermo è assorbito dalla placca e questo assorbimento diventa più forte quando V_a aumenta.

Quando V_a è eguale a 120 V, I_a possiede un valore di 2,4 mA e lo conserva sensibilmente fino oltre i 180 V.

In questa parte di caratteristica la corrente anodica è dunque indipendente da V_a: le variazioni di tensione della placca non hanno più che un'influenza trascurabile sulla corrente anodica e la valvola si comporta come un circuito avente un solo parametro variabile: V_g.

Ne segue che la pendenza S di una valvola a griglia-schermo possiede sensibilmente lo stesso valore, tanto se la misura è fatta staticamente che dinamicamente.

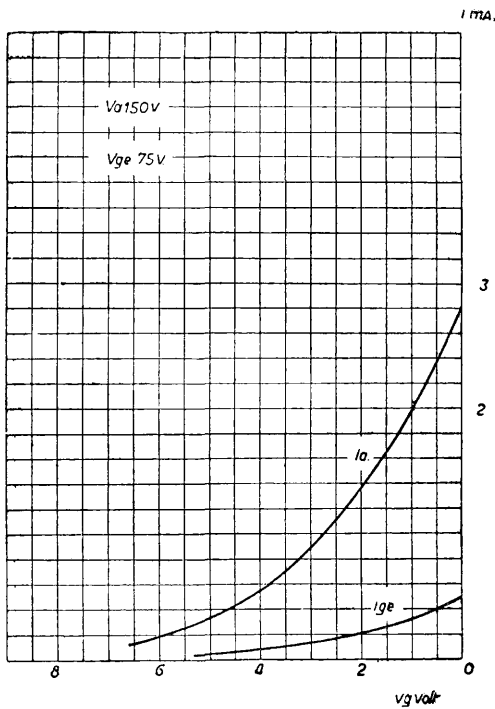



Fig. 110.

La resistenza interna, rapporto delle variazioni di V_a alle variazioni di I_a, è eccessivamente *grande* essendo queste ultime variazioni troppo *piccole;* questa resistenza raggiunge per es. nelle valvole del commercio 188000 ohm circa nelle condizioni di miglior funzionamento.

La pendenza S è data dalla caratteristica $I_a = f\ (V_g)$; essa è di 0,8 mA/V (figura 110) per la valvola esperimentata.

Se ne deduce che il coefficiente di amplificazione K, che è dato da $K = R_i \times S$, raggiunge circa 150.

Questo enorme coefficiente si spiega per il fatto che una valvola griglia-schermo è come una valvola a doppia griglia (tetrodo) nella quale $K = k_a \times k_b$, essendo k_a il coefficiente di amplificazione griglia interna-griglia esterna, k_b il coefficiente griglia esterna-placca (fig. 111).

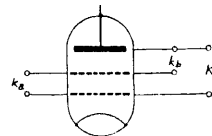



Fig. 111.

Valore ottimo della tensione di schermo (V_{gs}).

La tensione di griglia-schermo è un fattore che modifica enormemente le caratteristiche della valvola.

Le figg. 112 e 113 danno K e S in funzione di V_{gs}. La prima

mostra che si avrebbe vantaggio a diminuire V_{gs} aumentando in queste condizioni enormemente il coefficiente K.

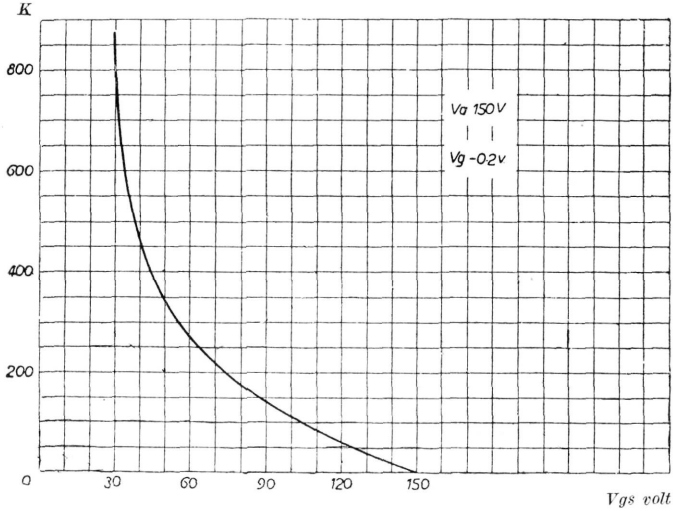



Fig. 112.

Al contrario, la seconda figura mostra che S diminuirebbe

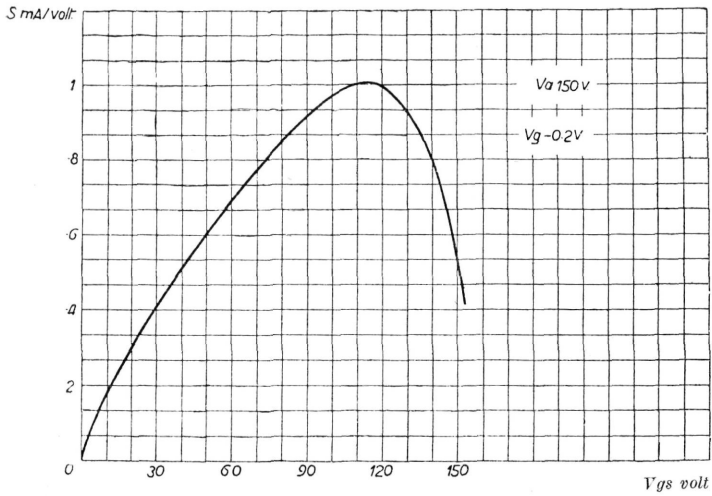



Fig. 113.

rapidamente, così che si otterrebbe una valvola a forte resistenza interna e a grande coefficiente di amplificazione.

Questo ci permette, variando V_{gs}, di adattare più o meno l'impedenza della valvola all'impedenza del circuito accordato o del trasformatore di A. F.

Tuttavia una diminuzione troppo forte di V_{gs} rende lo stadio di A. F. troppo instabile (ricordando che la capacità griglia-placca non è nulla ma di 0,01 cm. circa).

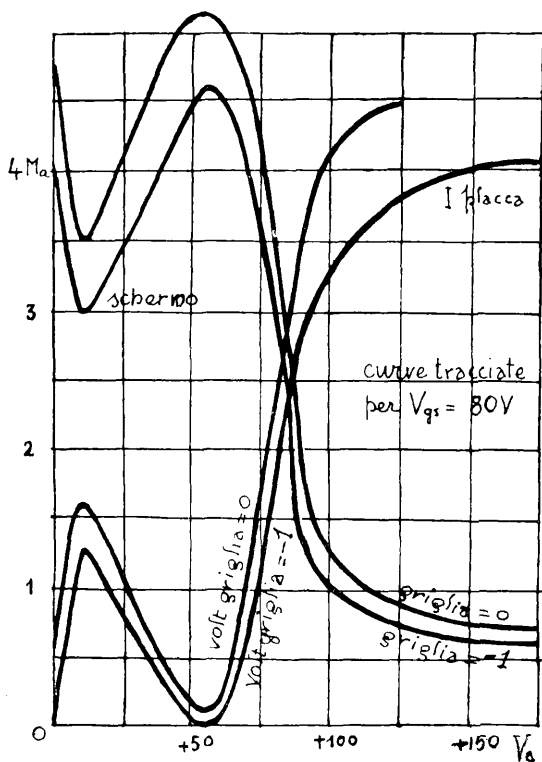



Fig. 114.

Le migliori condizioni di funzionamento per la valvola sperimentata (con circuito adatto) sono le seguenti:

$$V_a = 150 \text{ V}; \qquad V_{gs} = 75 \text{ V}.$$

La figura 114 si riferisce ad un'altra valvola del commercio avente le seguenti caratteristiche: tensione al filamento 4 volt, corrente al filamento 0,07 amp, pendenza 1 mA/volt. Tensioni di placca e di griglia schermo, consigliate, rispettivamente 150 e 100 volt.

Calcoliamo l'amplificazione possibile utilizzando il nostro circuito accordato e la valvola considerati precedentemente.

Il rapporto del trasformatore di alta frequenza è:

$$n = \sqrt{\frac{Z}{R_i}} = \sqrt{\frac{227000}{188000}} = 1,09$$

Questo rapporto è sensibilmente eguale all'unità. Possiamo dunque in questo caso utilizzare il montaggio ad anodo accordato e l'amplificazione per stadio sarà:

$$K_{st} = K \frac{Z}{Z + R_i} = 82,5$$

Diminuiamo ora V_{gs} di 25 V e vediamo ciò che diventa l'amplificazione:

K aumenta notevolmente: 450 (figura 112).

S diminuisce: 0,55 mA/V (figura 113).

Se ne ricava:

$$R_i = \frac{K}{S} = 818000 \; ohm$$

Il rapporto del trasformatore di A. F. è:

$$n = \sqrt{\frac{Z}{R_i}} = \sqrt{\frac{227000}{818000}} = 0,52$$

e l'amplificazione per stadio:

$$K_{st} = \frac{1}{2} K \times n = 117$$

Si vede che la diminuzione di V_{gs} ha causato un leggerissimo aumento dell'amplificazione per stadio; tuttavia questo procedimento è inutilizzabile poichè lo stadio si mette in tali condizioni ad oscillare.

La selettività.

Sappiamo che la selettività è funzione della curva di risonanza del circuito oscillante. Essa dipende da due fattori:

1°) dalle caratteristiche proprie del circuito.

2°) dalla resistenza interna della valvola alla quale il circuito è connesso.

Ora il primo di questi fattori è costante per costruzione; il secondo è egualmente costante grazie *all'utilizzazione di un trasformatore di alta frequenza di accoppiamento con rapporto* n *adeguato.*

In effetti la resistenza di ammortizzamento R_{am} in parallelo sul secondario è

$$R_{am} = R_i \times n^2$$

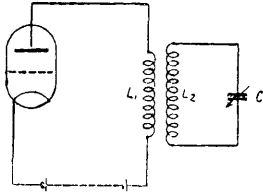
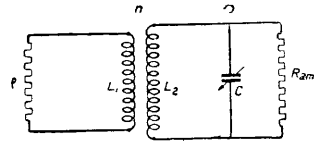



Fig. 115. Fig. 116.

Ora noi abbiamo

$$n^2 = \frac{Z}{R_i}$$

da cui

$$R_{am} = R_i \times \frac{Z}{R_i} = Z$$

R_{am} è dunque indipendente da R_i (resistenza interna della valvola) ed è equivalente alla resistenza dinamica del circuito accordato.

Spesso si constata che la selettività aumenta con la resistenza interna della valvola; questo fenomeno proviene dal fatto che si utilizza frequentemente ed a *torto*, un circuito accordato inserito direttamente nel circuito anodico delle valvole di alta frequenza, siano esse di forte o di debole resistenza interna.

Bobine speciali.

Ricordiamo che la capacità residua delle valvole a griglia-schermo è dell'ordine di 0,001 cm. come vedremo meglio parlando delle valvole schermate per corrente alternata.

Questo valore ci permette, senza alcun pericolo d'instabilità, di utilizzare un circuito accordato di debolissima resi-

stenza di alta frequenza in maniera da aumentare l'amplificazione dello stadio, risultante dall'aumento della resistenza dinamica di questo circuito. Si può utilizzare a tale scopo una bobina composta di 56 spire di filo di rame elettrolitico di 4/10 di mm. di diametro ricoperto di 3 strati di seta e avvolte su un tubo di 85 mm. di diametro.

Le due estremità di questa bobina sono connesse direttamente agli estremi del condensatore d'accordo senza alcun supporto intermedio e ad una distanza minima di 3 cm. da questo condensatore, con l'asse radiale della bobina ad esso parallelo.

Inutile dire che il condensatore deve essere perfetto dal punto di vista dell'isolamento e delle perdite dielettriche.

La resistenza di alta frequenza che presenta la bobina non è che di 1,7 ohm e il suo coefficiente di self-induzione è di 185 microhenry.

Per un valore della capacità d'accordo di 0,0002 μF la resistenza dinamica corrispondente è

$$Z = \frac{L}{C.r} = \frac{185}{0.0002 \times 1,7} = 544000 \; ohm$$

e l'amplificazione per stadio con una valvola del commercio avente un coefficiente di amplificazione 1000 ed una resistenza di 800.000 ohm.

$$K_{st} = K \frac{Z}{Z + R_i} = 1000 \frac{544000}{544000 + 800000} = 404$$

Siamo dunque pervenuti ad ottenere un' amplificazione totale di 400 circa per stadio. Questo valore non è raggiunto che con una scelta giudiziosa del materiale utilizzato e non è possibile che schermando accuratamente il circuito di griglia o di placca.

È consigliabile schermare il circuito di griglia perchè così resta annullata l'induzione diretta di una stazione locale e ne guadagna la selettività; inoltre l'assenza di schermi, e quindi di parti metalliche attorno al circuito anodico, contribuisce a diminuire le perdite di A.F. di cui è sede questo circuito.

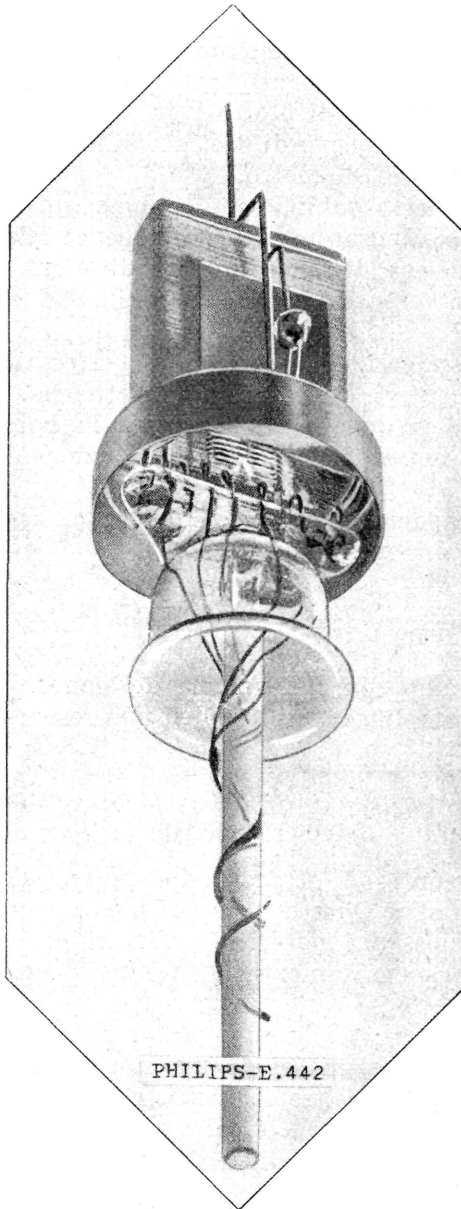



Fig. 117.

Le valvole schermate alimentate in corrente alternata.

Anche le valvole schermate sono state costruite per essere alimentate direttamente in corrente alternata. Anche in queste come nelle altre, l'emissione elettronica è prodotta da uno strato emittente speciale sopportato da un catodo riscaldato indirettamente da un filamento a V.

La materia che costituisce il supporto dello strato emittente è stata oggetto di numerose ricerche.

Infatti essa deve rispondere a 4 funzioni ben differenti:

1° deve presentare una forte inerzia calorifica;

2° la materia emittente deve aderire perfettamente, alla temperatura di funzionamento, al sostegno;

3° sotto l'effetto di questa temperatura il catodo non deve screpolarsi sotto pena di vedere lo strato emittente disgregarsi;

4° la resistenza filamento-catodo deve essere la più elevata possibile.

La figura 117 rappresenta l'interno di una tale valvola del commercio.

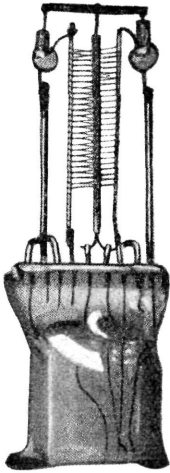



Fig. 118.

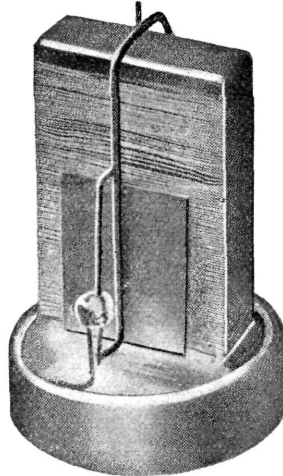



Fig. 119.

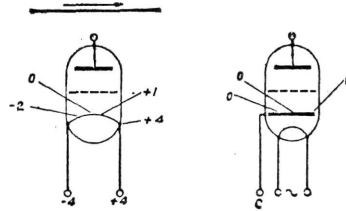
La materia utilizzata come supporto dello strato emittente di questa valvola è una composizione di terra porosa la quale risponde perfettamente alle funzioni enumerate. La resistenza filamento-catodo raggiunge in funzionamento 50 megohm circa.

Le figure 118 e 119 mostrano gli elettrodi di una tale valvola: la fig. 118 lascia vedere il filamento, il catodo e la griglia, la figura 119 la griglia-schermo e l'anodo.

L'assenza di gradiente del potenziale lungo il catodo permette, in questa valvola, un aumento sensibile dell'emissione elettronica; inoltre questa emissione è costante in qualsiasi punto della superficie del catodo.

In conseguenza di ciò gli elettrodi si sono potuti disporre in maniera tale da ridurre la capacità griglia di controllo placca a 0,001 cm.

Fig. 120.

La figura 120 mostra il differente comportamento dei filamenti riscaldati direttamente dalla corrente alternata a sinistra e scaldati indirettamente a destra.

Nel primo caso il filamento possiede un gradiente di potenziale che provoca una emissione elettronica più forte ad una estremità che all'altra; nel secondo caso si ha un potenziale 0 in qualsiasi punto della superficie emittente.

La figura 121 mostra le curve caratteristiche $I_a = f(V_g)$ relative alla valvola di fig. 117.

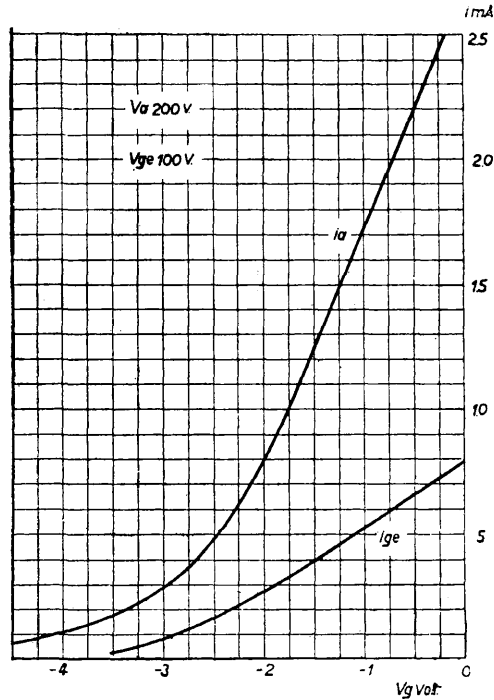



Fig. 121.

Nelle migliori condizioni di funzionamento di questa valvola si ha una pendenza $S = 1{,}27$ mA/V ed una resistenza interna elevatissima di circa 800.000 ohm.

Il coefficiente di amplificazione K raggiunge in queste condizioni 1000.

Poichè la resistenza interna R_i delle valvole schermate è molto alta (anche 1 megaohm), se si lascia la resistenza del circuito anodico esterno R_a dell'ordine di quella usata per i triodi normali, circa 100.000 ohm, essa può trascurarsi

rispetto ad R_i nella formula $K_{st} = K \frac{R_a}{R_i + R_a}$ che diventa allora

$$K_{st} = K \frac{R_a}{R_i} = S \times R_a$$

Questa formula ci dice che l'amplificazione per stadio K_{st} dipende solo dalla pendenza S ed è indipendente dal coefficiente di amplificazione K della valvola. È quindi, in pratica, inutile prendere in considerazione il coefficiente di amplificazione, anche altissimo, per valvole di resistenza interna così elevata se non si provvede ad avere un circuito d'accordo di altissima resistenza.

Per la valvola considerata per la quale si ha un coefficiente di amplificazione di 1000 ed una pendenza di 1,2 mA/V, con un circuito anodico esterno di 100.000 ohm si avrebbe:

$$K_{st} = S \times R_a = 0{,}0012 \times 100.000 = 120$$

Se noi allora vogliamo calcolare l'amplificazione permessa da uno stadio di A. F. con una valvola dalle caratteristiche accennate e con un circuito accordato di 227,000 ohm (resistenza dinamica $Z = \frac{L}{C \times r}$ dove L = coefficiente di self induzione della bobina, C = capacità del condensatore d'accordo, r = resistenza di A. F. della bobina), si ha che il rapporto del trasformatore di A. F. necessario sarà:

$$n = \sqrt{\frac{Z}{R_i}} = \sqrt{\frac{227000}{800000}} = 0{,}53$$

Per ragioni tecniche non è però possibile adoperare un trasformatore di A.F. il cui primario ha un numero di spire minore del secondario (la risonanza del primario si trova nella gamma di risonanza del secondario, capacità tra gli avvolgimenti, ecc.). Si deve perciò contentarsi di un trasformatore del rapporto minimo = 1 o di un circuito accordato diretto.

L'amplificazione per stadio ottenuta, supponendo che il circuito d'accordo sia connesso direttamente all'anodo, sarà allora:

$$K_{st} = K \frac{Z}{Z + R_i} = 1000 \frac{227000}{227000 + 800000} = 221$$

L'amplificazione teorica con trasformatore sarebbe di 265. La perdita di amplificazione non è perciò che dell'8,4% quindi completamente trascurabile.

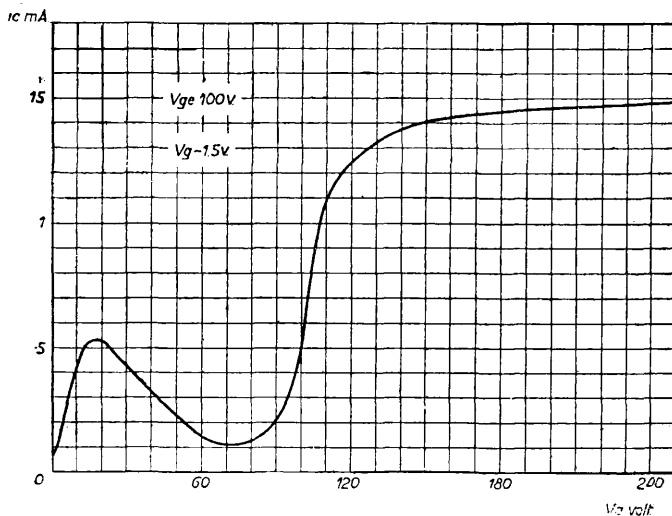



Fig. 122.

La figura 122 è la caratteristica corrente anodica-tensione anodica $(I_a = f\ (V_a))$ della stessa valvola per una tensione di griglia schermo di 100 V e una tensione di polarizzazione di griglia di 1,5 V.

La figura 123 rappresenta uno schema di montaggio di questa valvola in A.F. In questa figura si è volontariamente omesso il circuito di accensione per il quale basterebbe riunire il morsetto sinistro di C_1 al morsetto inferiore di R_1.

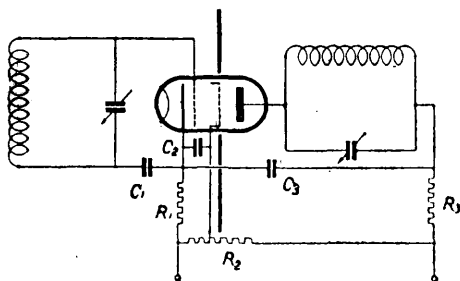



Fig. 123.

In essa:

R_1 = resistenza variabile di 1000 ohm (10 mA);

R_2 = potenziometro di 100.000 ohm (4 mA);

R_3 = resistenza di accoppiamento di 1000 ohm (5 mA);

C_1 - C_2 - C_3 = condensatori di 2 μF.

La resistenza R_1 deve essere regolata in maniera che la tensione agli estremi di C_1 sia di 1,5 V.

La figura 124 si riferisce ad un'altra valvola schermata ad accensione indiretta avente le seguenti caratteristiche: tensione del filamento 0,6 volt, corrente del filamento 1,2 amp., pendenza 1 mA/volt. Tensioni di placca e di griglia-schermo consigliate, rispettivamente 150 e 100 Volt. In tali

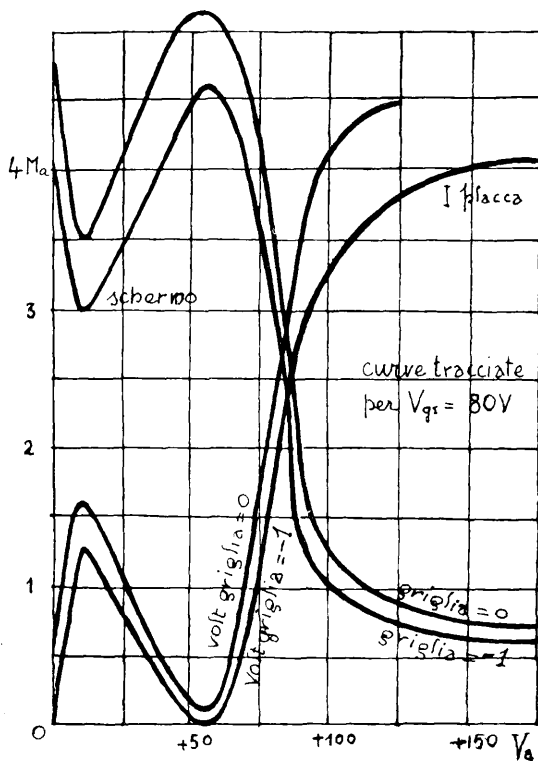



Fig. 124.

condizioni si ha una resistenza interna di 90,000 ohm ed un coefficiente di amplificazione di 90.

L'uso pratico delle valvole schermate.

Per ottenere con una valvola schermata di alta frequenza una grande amplificazione occorre come abbiamo visto che l'elemento di accoppiamento collegante la placca di questa valvola con la griglia della successiva sia adattato alla val-

vola schermata. Come elemento di accoppiamento si può fare uso di un trasformatore di alta frequenza a circuito secondario accordato (fig. 125) o di un autotrasformatore (fig. 126) o di un circuito anodico accordato (fig. 127).

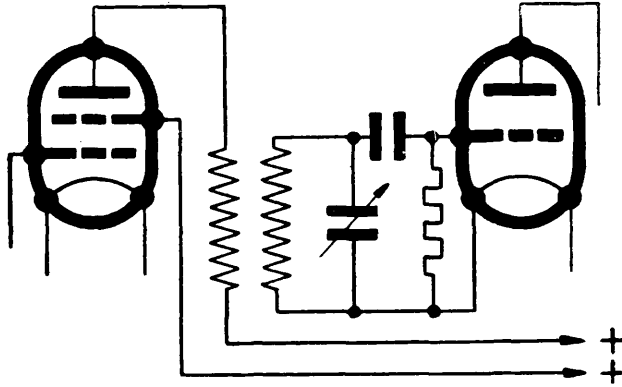



Fig. 125.

Si possono ottenere anche notevoli vantaggi con delle valvole riceventi di alta frequenza a debole resistenza interna e usando un accoppiamento a trasformatore appropriato; però

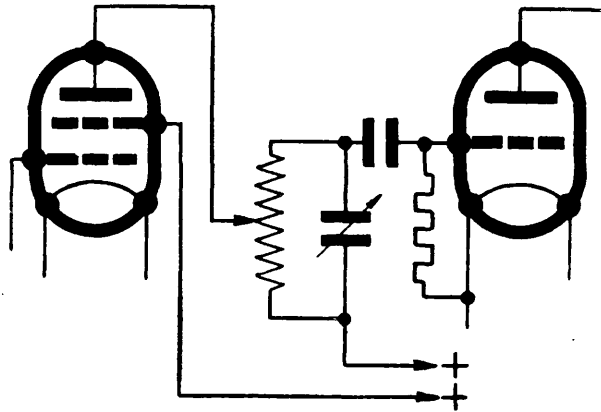



Fig. 126.

nel caso di valvole schermate ad alta resistenza interna, questo ha poca importanza.

Gli stessi risultati si otterranno usando un accoppiamento più semplice a mezzo di un circuito anodico sintonizzato (fi-

gura 127). Se si vogliono sfruttare a fondo le qualità straordinarie di una valvola di alta frequenza schermata, cioè se si vuole ottenere la più grande amplificazione possibile per stadio, occorre:

1° che le perdite nel circuito anodico accordato siano le più deboli possibili;

2° che lo schermaggio dell'apparecchio sia eseguito con la più grande cura. Più l'amplificazione è grande e maggiore sarà la tendenza dell'apparecchio a funzionare in maniera irregolare.

In generale non è molto difficile realzzare una stabilità

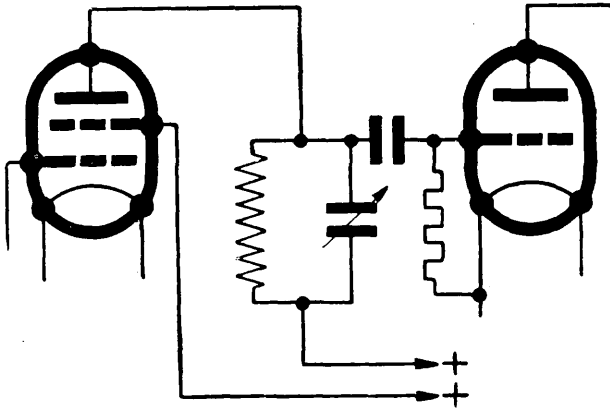



Fig. 127.

sufficiente con uno stadio di amplificazione di alta frequenza. Le difficoltà non saranno notevoli che quando si tratterà di due o più stadi di alta frequenza.

Nella valvola schermata la capacità griglia-placca è ridotta ad un valore tanto piccolo che un accoppiamento tra il circuito anodico e di griglia non è praticamente possibile. È evidente che il vantaggio di una tale valvola non sarà di alcuna utilità se non si protegge il circuito anodico, quello della griglia e le loro connessioni rispettive anche all'esterno della valvola, e in maniera almeno tanto efficace quanto nell'interno della valvola stessa.

In generale lo schermaggio magnetico ed elettrostatico delle bobine e dei condensatori dei circuiti anodico e di griglia con delle placche di rame o di alluminio non è sufficiente. In questo

caso resta sempre l'accoppiamento dei conduttori di questi circuiti. Il metodo più semplice per evitare gli accoppiamenti tra questi conduttori consiste nell'inserire tra il circuito di oscillazione ed i catodi rispettivi, un condensatore di blocco di un valore sufficiente (0,1 a 1 μF) (fig. 128), ma esso non è sempre sufficiente.

In tal caso le correnti di alta frequenza passeranno, almeno in parte, attraverso il condensatore e non lungo il conduttore. Si otterrà uno schermaggio ancora più efficace usando un tale condensatore in combinazione con una resistenza o una bobina di reattanza. Come regola generale si può ammettere che è necessario schermare, in questa maniera, tanto l'anodo che la griglia di ogni valvola dagli altri anodi e griglie. La fig. 129 mostra lo schema di principio. Il condensatore e la resistenza funzionano come potenziometro.

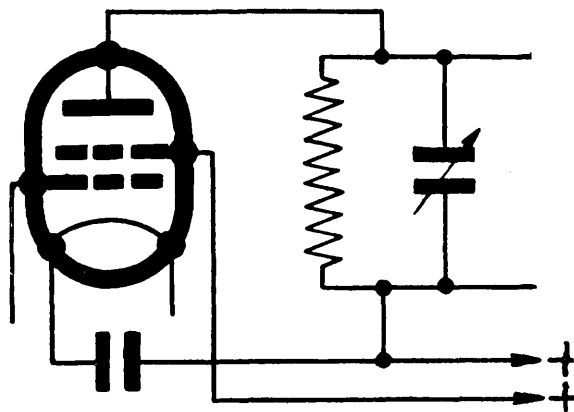



Fig. 128.

Le fluttuazioni della tensione tra *a* e *b* saranno assorbite per la maggior parte dalla resistenza o dalla bobina d'impedenza mentre che le variazioni della tensione tra *a* e *c* saranno ben minori. I valori del condensatore e della resistenza sono indicati nella figura 129.

Quanto allo schermaggio vero e proprio vale meglio provvedere ogni valvola con i suoi elementi di accoppiamento, di uno schermo metallico separato. Questo schermo deve essere collegato, sia direttamente sia a mezzo di una grande capacità, al catodo. Lo schermaggio si farà di preferenza in ma-

niera che la parte superiore dell'ampolla e la connessione della placca della valvola schermata si trovino nello schermo dello stadio seguente. Disporre le bobine separatamente in schermi metallici chiusi costituisce anche una protezione efficacissima.

Come materiale per lo schermaggio si possono usare delle placche di rame di 0.3 mm. circa o delle placche di alluminio di 1 mm. circa. Per evitare lo smorzamento nelle bobine bisogna allontanare sufficientemente gli schermi da queste; la distanza sarà p. es. eguale al diametro od al raggio delle bobine.

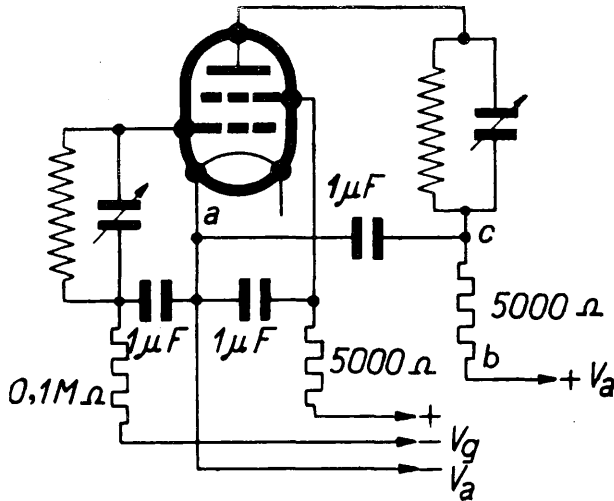



Fig. 129.

Il montaggio orizzontale delle valvole di alta frequenza sarà spesso vantaggioso perchè allora lo schermaggio è più facile ad eseguirsi. Tuttavia bisogna fare attenzione a che il piano della placca si trovi nella posizione verticale (fig. 130).

Inoltre si dovrà avere cura di separare bene la parte di alta frequenza dalla parte di bassa frequenza altrimenti delle oscillazioni di alta frequenza potrebbero disturbare la ricezione. Si userà p. es. una bobina d'impedenza di alta frequenza di dimensioni appropriate con dei condensatori di blocco nel circuito anodico della valvola detectrice.

In questi ultimi tempi si è andato sviluppando l'uso della valvola schermata come detectrice con accoppiamento a resistenza. Questa connessione permette di raggiungere un'am-

plificazione enorme. La fig. 131 mostra lo schema di un apparecchio a due valvole utilizzante una valvola schermata come detectrice.

Oltre che come detector utilizzando la curvatura della corrente di griglia le valvole scher-

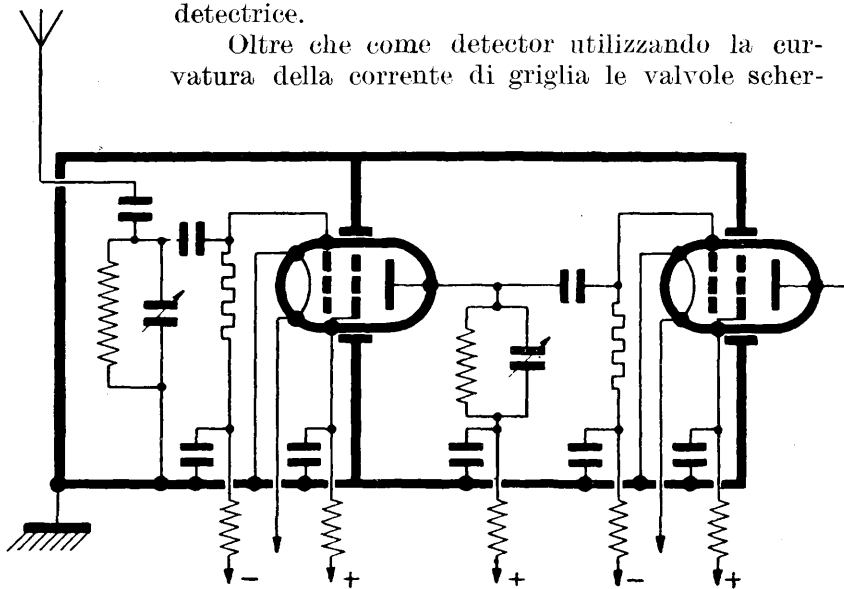



Fig. 130

mate vanno ora anche affermandosi nell'uso come detector per corrente di placca.

Abbiamo già visto come avviene questa specie di rettifi-

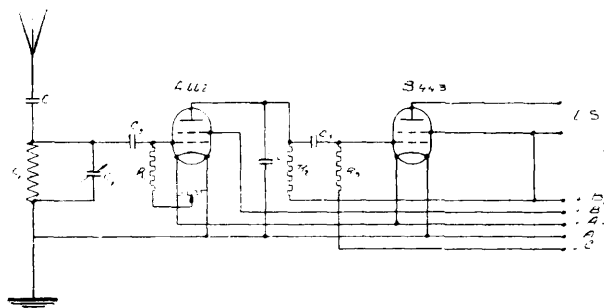



Fig. 131.

cazione. La fig. 132 rappresenta la caratteristica di placca di una valvola. Occorre che il punto di funzionamento di questa valvola sia nel ginocchio inferiore della curva. Nel caso della fig. 132 occorre quindi che la griglia abbia una tensione nega-

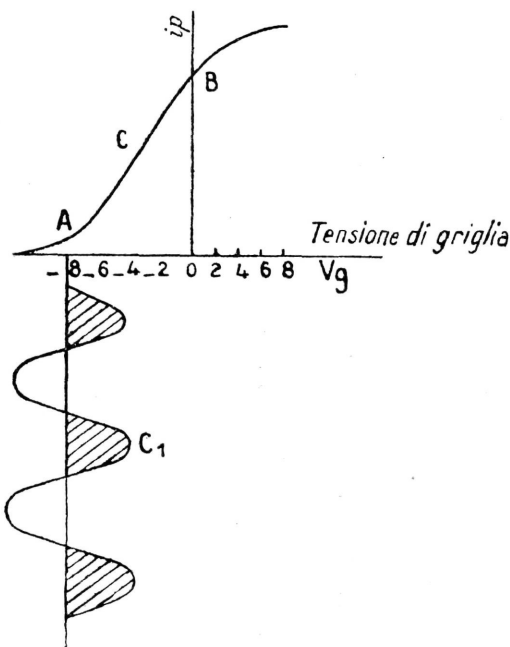
tiva di almeno 8 V. Applicando alla griglia una tensione alternata rappresentata dalla curva C_1 è evidente che le alternanze positive, tratteggiate nella figura, provocheranno un notevole aumento di corrente di placca mentre che le alternanze negative l'annulleranno o la renderanno piccolissima. Vi sarà quindi un effetto di raddrizzamento. Riepiloghiamo qui rapidamente i vantaggi di questo metodo di rettificazione di fronte all'altro del condensatore shuntato dalla resistenza di fuga.

La rettificazione per corrente di placca favorisce uniformemente tutte le frequenze mentre il condensatore shuntato spesso favorisce solo alcune frequenze acustiche.

Fig. 132.

La rettificazione per corrente di placca permette di rettificare *correnti di alta frequenza* molto intense mentre nella rettificazione per corrente di griglia una corrente di alta frequenza intensa sovraccarica la valvola specialmente nei « forti » ciò che produce una deformazione nei suoni rendendo la voce cavernosa e spesso incomprensibile. Il vantaggio di poter rettificare correnti di alta frequenza molto intense risiede anche nel fatto che si può allora usare un solo stadio di bassa frequenza con valvola di grande potenza mentre raramente questo è possibile nel caso della detecezione per corrente di griglia.

Ma anche il metodo di rettificazione per corrente di placca non è scevro d'inconvenienti. Anzitutto esso presenta una sensibilità minore: bisogna alimentare la valvola detectrice con una maggiore potenza per avere la stessa intensità di audi-

zione. Per rimediare a questo inconveniente occorre amplificare maggiormente in alta frequenza.

In secondo luogo la valvola detectrice per corrente di placca ha bisogno di una tensione di polarizzazione di griglia molto precisa per poter trovare il punto di lavoro esattamente sulla parte più curva della caratteristica. Specialmente quando il ginocchio di questa caratteristica è poco pronunciato la ricerca del punto migliore di lavoro riesce difficile e da ciò può nascere deformazione dei suoni specialmente quando il segnale proveniente dall'alta frequenza non è molto forte.

Utilizzando in questo stadio di detector una valvola schermata, si può con un ingegnoso artificio avere una regolazione

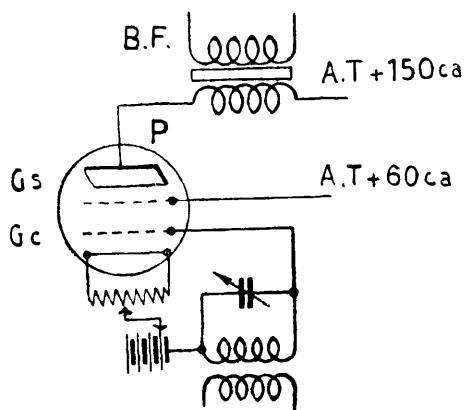



Fig. 133.

continua della tensione di polarizzazione così che riesce facile la ricerca del punto opportuno.

La fig. 133 mostra la valvola schermata montata come una valvola ordinaria cioè lasciando fisse le tensioni di placca (P) e della griglia schermo (G_s) e trovando la polarizzazione di griglia più favorevole mediante una presa variabile su delle pile di polarizzazione con un potenziometro sull'accensione.

Questo sistema non è però raccomandabile per diverse ragioni. La fig. 134 ci mostra, come sappiamo, che variando la tensione anodica, la curva si sposta verso sinistra e quindi, lasciando fissa la polarizzazione di griglia si potrebbe ottenere il miglior punto di lavoro variando la tensione di placca. La valvola schermata ci offre però una maniera più semplice per questa polarizzazione. Infatti in questo caso anzichè far va-

riare la tensione anodica il che sarebbe più complicato che far variare la tensione di griglia, basterà far variare la tensione di griglia-schermo (griglia acceleratrice).

La fig. 135 mostra le connessioni da eseguire.

Fig. 134.

I vantaggi che si ottengono in tal caso sono notevoli. Anzitutto il circuito anodico conserva la sua impedenza propria e poi la tensione della griglia acceleratrice può essere comandata più facilmente a mezzo della resistenza *R* perchè la corrente che attraversa il circuito di questa griglia è sempre molto piccola ed è noto come resistenze variabili possono difficilmente sopportare correnti notevoli, come quella anodica per esempio.

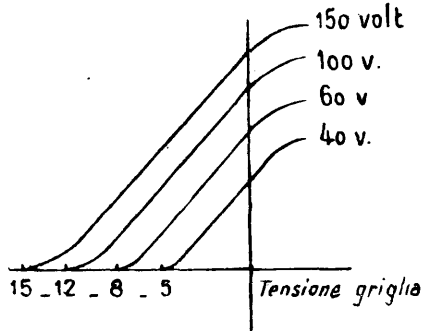
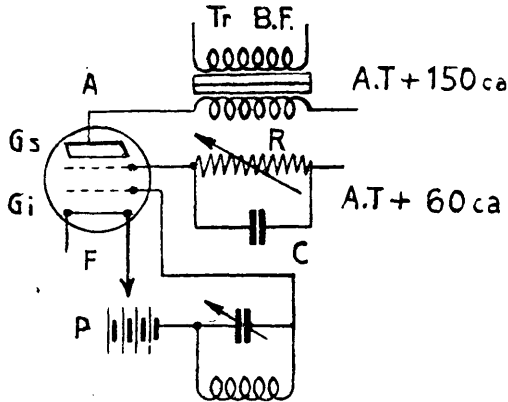



Fig. 135.

Generalmente si shunta la resistenza *R* con un condensatore *C* di qualche μF. Basterà la semplice manovra della resistenza *R* per spostare la curva caratteristica fino a portare il ginocchio inferiore sul punto di lavoro della griglia normale. È facile calcolare il valore di questa resistenza *R* in base alla corrente di griglia-schermo, che è sempre dell'ordine di qualche decimo di mA, ed alla caduta di tensione che si vuole ottenere.

La valvola dello stadio finale che segue la valvola schermata detectrice è preferibile sia una valvola a resistenza molto bassa o un pentodo.

CAPITOLO XIV.

Pentodi

Abbiamo detto nella prima parte di questo volume, che durante il funzionamento la pendenza della caratteristica di un triodo diminuisce (pendenza dinamica) e quindi diminuisce K così che il fenomeno si può considerare come nocivo.

Abbiamo concluso che gli sforzi dei costruttori si sono orientati verso una valvola nella quale i valori « dinamici » fossero eguali ai valori « statici ».

Prima di studiare attraverso quali procedimenti si è pervenuti alla costruzione di una tale valvola, vogliamo far notare una seconda causa di diminuzione della pendenza statica.

Dalla formula:

$$S\ din = \frac{K \text{ stat}}{\sqrt{(R_i + R)^2 + (2\pi f L)^2}}$$

in cui K = coefficiente di amplificazione
R_i = resistenza interna della valvola
R = resistenza ohmica dell'altoparlante
f = frequenza
L = coefficiente di selfinduzione dell'altoparlante,

si deduce che essa diminuisce quando la frequenza f aumenta (fig. 136).

Da ciò che abbiamo detto possiamo concludere che la ragione principale della diminuzione della pendenza della caratteristica statica è dovuta alla dipendenza mutua di I_a e

V_a. Ottenere perciò una valvola avente una caratteristica nella quale la corrente anodica fosse indipendente dalla tensione

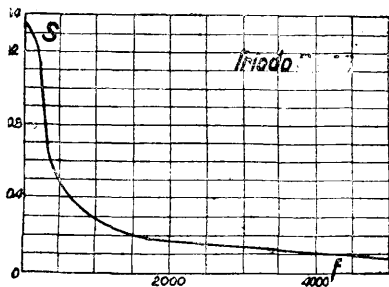



Fig. 136.

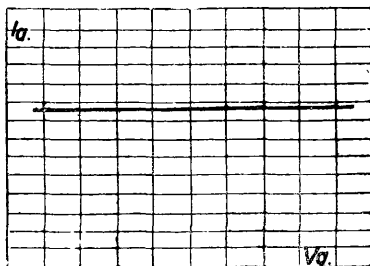



Fig. 137.

anodica (fig. 137) è stato l'oggetto delle lunghe ricerche che noi riassiumiamo in ciò che segue.

Scoperta del pentodo.

Il primo passo verso la « corrente anodica indipendente » è effettuato con la valvola a doppia griglia, chiamata ancora valvola a griglia-schermo come quelle precedentemente viste.

In questa valvola, come è noto, oltre la griglia ordinaria di controllo vi è una seconda griglia tra questa prima e la placca. Questa griglia ausiliare portata a un potenziale fisso che è di solito la metà della tensione applicata all'anodo, si comporta rispetto al filamento e alla griglia di controllo come un « semi anodo ».

Fig. 138.

Appare chiaro come in queste condizioni il vero anodo non possa produrre un'attrazione sensibile sugli elettroni emessi dal filamento, ma su quelli che vengono attirati dalla griglia-schermo.

Per questo motivo quando V_a aumenta (essendo costante la tensione di griglia-schermo V_{gs}), I_a dapprima aumenta rapidamente (fig. 138 curva AB), ma appena la tensione anodica è sufficiente per

attirare a sua volta dalla griglia-schermo tutti gli elettroni attirati da quest'ultima, e supponendo assente per il momento un fenomeno di emissione secondaria, noi constateremo a partire dal punto D che l'aumento di V_a non produce più che una piccolissima variazione di I_a.

Il tratto DE della caratteristica è dunque praticamente indipendente da V_a. In tal caso cioè, si ha

$$S \text{ din.} = S \text{ stat.}$$

Ma il primo ostacolo si presenta sotto la forma di un fenomeno di resistenza negativa (curva BCD).

Quando la placca è bombardata dall'emissione elettronica del filamento attraverso la griglia-schermo, da questa placca sfuggono degli elettroni secondari.

In un triodo questo fenomeno non presenta delle noie poichè questi elettroni sono riassorbiti dall'anodo, ma in un valvola a due griglie quando il potenziale della griglia-schermo diventa superiore a quello dell'anodo (curva BC) gli elettroni secondari che sfuggono da questo sono raccolti dalla griglia-schermo e la corrente anodica diminuisce sensibilmente mentre V_a aumenta.

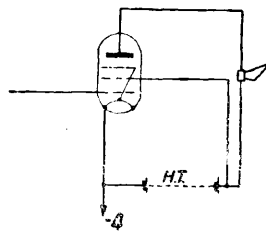
Fig. 139.

Una valvola di questo genere è indicata per l'amplificazione di A. F., ma due sue proprietà non permettono di utilizzarla come valvola di uscita:

1° la parte orizzontale DE è troppo corta e non permette che delle variazioni piccolissime della tensione anodica, mentre che in una valvola di uscita queste variazioni raggiungono 100 volt massimi;

2° la sua resistenza interna grandissima non permette di adottare un altoparlante della stessa impedenza nel circuito anodico.

L'inserzione di una terza griglia tra la griglia-schermo e l'anodo (fig. 139) rimedia ai due difetti sopra riportati. Questa griglia è connessa direttamente al punto medio del filamento allo scopo di permettere l'accensione direttamente con la corrente alternata e la sua funzione principale è quella d'impedire che l'emissione secondaria della placca si porti sulla griglia-schermo, permettendo così alla corrente anodica di con-

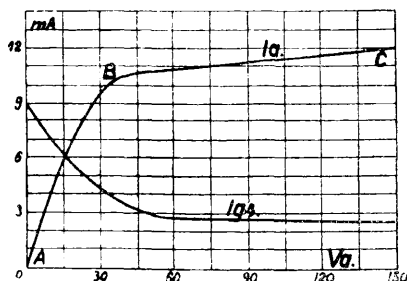
servare il suo valore fino a B (fig. 140). La tensione della griglia-schermo ha potuto essere portata allo stesso valore di quella della placca così che la pendenza S è notevolmente aumentata, mentre che la resistenza interna è diminuita.

Quando V_a è eguale a 0 volt la corrente di griglia-schermo raggiunge il suo massimo: infatti in tal caso questo elettrodo funziona da anodo come in un triodo ordinario.

Man mano che V_a aumenta, la corrente di griglia-schermo I_{gs} diminuisce contrariamente a I_a, così che l'emissione elettronica totale è sensibilmente costante.

Nella parte BC della caratteristica che si riferisce ad un pentodo, la pendenza dinamica non è eguale alla pendenza statica (infatti la caratteristica I_a-V_a non è orizzontale), ma ne differisce di poco (1,42 mA/V invece di 1,5).

Fig. 140.

Questa pendenza, come accade anche in un triodo ordinario, diminuisce quando la frequenza aumenta, e ciò è dovuto all'aumento dell'impedenza dell'altoparlante.

La figura 141 permette di rendersi conto dei valori della pendenza dinamica S din. per un triodo di potenza e per un pentodo.

Dall'esame di queste curve si ricavano degli insegnamenti utilissimi:

1° la pendenza del triodo cade, durante il funzionamento, da 2,6 a 1,35, mentre che la pendenza dinamica del pentodo conserva sensibilmente il suo valore statico;

2° la diminuzione di S din. in funzione della frequenza è, nel caso del triodo, eccessivamente grande; a 70 periodi il suo valore non è più che 1,3 mA/V mentre che per il pentodo questo valore si manifesta ancora alla frequenza di 1000 periodi.

Alle frequenze di 5000/8000 periodi la pendenza dinamica del triodo si avvicina all'asse delle ascisse, ciò che vuol dire che queste frequenze non sono quasi affatto trasmesse all'altoparlante.

Nel caso del pentodo la pendenza è ancora di 0,7 mA/V, cioè circa la metà del suo valore a 30 periodi.

Queste cifre mostrano la superiorità del pentodo dal punto di vista della riproduzione delle frequenze da 30 a 8000 periodi, nonchè la pendenza dinamica eccezionalmente forte che presenta il pentodo.

Fig. 141.

Conoscendo i valori dinamici della pendenza noi possiamo calcolare la forza elettromotrice alternata massima applicabile alla griglia di controllo.

Dalla curva della fig. 142 si vede che le alternanze negative delle variazioni di V_a sono limitate dal ginocchio verso i 20 V (in funzionamento questo ginocchio si sposta verso l'asse delle ordinate). La tensione alternata di placca si estende dunque da 150 — 130 V a 150 + 130 V, cioè da 20 a 280 V, ciò che fa 130 V da una parte e dall'altra.

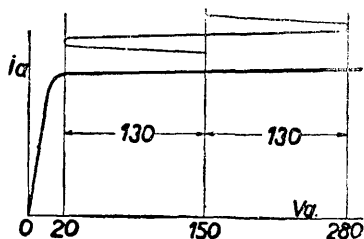
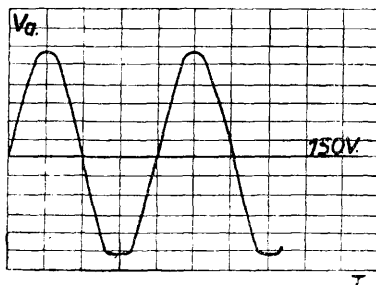



Fig. 142.

Nel caso di tensione alternata più forte le alternanze negative sono « smussate » mentre che le alternanze positive portano la placca a un potenziale esagerato sufficiente per provocare degli effluvi tra gli elettrodi e per conseguenza la distruzione della valvola.

Fig. 143.

Lo smussamento delle alternanze negative (figura 143) è dovuto a ciò che nella parte AB della caratteristica, la pendenza dinamica è eguale a circa la metà del suo valore statico proprio come in un triodo ordinario.

Basiamo i nostri calcoli sulla frequenza media di 1000 pe-

riodi. A questa frequenza l'impedenza Z di un altoparlante elettromagnetico è di circa 15000 ohm (figura 144) e la pendenza dinamica di un pentodo è di 1,3 mA/V circa.

Il valore massimo della f. e. m. alternata applicabile alla griglia di comando è, in queste condizioni dato dalla formula:

$$V_a \max = \frac{V_a \text{ alt.}}{S \text{ din.} \times Z} = \frac{130}{0{,}0013 \times 15000} = 6{,}5 \text{ V max}$$

Notiamo che la grandezza della f. e. m. alternata di griglia varia costantemente con la frequenza, ma a nostro avviso non deve essere oltrepassato un valore massimo di 6 a 7 V.

Con i dati che noi possediamo si può calcolare la potenza

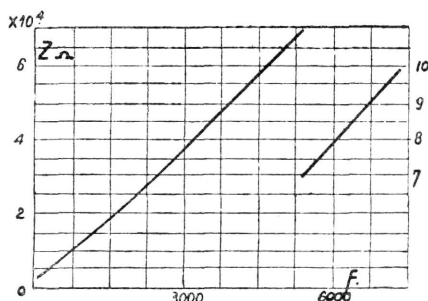



Fig. 144.

di uscita che può fornire il pentodo considerato, senza alcuna deformazione:

$$W_s = V_a alt. \times i \times \cos \varphi$$

dove $V_a alt.$ = f.e.m. alternata di placca
i = orrente anodica alternata corrispondente
$\cos \varphi$ = 0,5 circa per un altoparlante elettromagnetico
$V_a alt.$ = 130 V massimi, cioè $130 \times 0{,}707 = 92$ V efficaci
I = S din. $\times$ f. e. m. efficace alternata di griglia
= $0{,}0013 \times 6{,}5 \times 0{,}707$
= 0,006 A
W_s = $92 \times 0{,}006 \times 0{,}5 = 0{,}276$ watt.

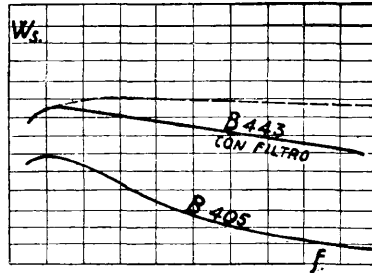
Calcoliamo ora a titolo di paragone la potenza di uscita massima di un triodo a 1000 periodi (p. es. del triodo B 405 riportato nella tabella di fig. 12):

la f.e.m. alternata di griglia = 12 V max = 8,5 V eff.
la f.e.m. altern. di placca = 8,5 × 0,0003 × 15000 = 30 V eff.

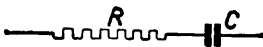
$I = 6{,}5 \times 0{,}0003 = 0{,}002$ A circa
$W_s = V_a alt. \times I \times \cos \varphi = 30 \times 0{,}002 \times 0{,}5 = 0{,}03\ W.$

Così dunque alla frequenza 1000 il pentodo prima considerato (il tipo B 443 Philips) dà una potenza di circa 0,276 watt con una forza elettromotrice alternata di griglia di 6,5 V mentre il triodo B 405 con una forza elettromotrice di griglia quasi doppia non produce che 0,03 watt.

Fig. 145.

La superiorità del pentodo sul triodo è già ben accentuata verso 50 a 100 periodi, ma nell'intervallo 100/8000 periodi la seconda valvola si mostra nettamente inferiore.

La fig. 145 mostra le curve relative alle potenze di queste due valvole per una stessa f. e. m. alternata di griglia.

La riproduzione delle note alte per un altoparlante alimentato da un pentodo può sembrare eccessiva per alcuni. È perciò utile inserire in parallelo all'altoparlante un filtro la cui impedenza sia altissima alle frequenze di 50-100 periodi ma diminuisca man mano che la frequenza aumenta.

In tal modo una certa frazione delle correnti telefoniche di frequenza 2000/8000 è derivata dall'altoparlante e la riproduzione sembra più grave.

Fig, 146.

Un tal filtro è costituito generalmente da una resistenza e da una capacità in serie; per gli altoparlanti del commercio (p. es. del tipo elettromagnetico):

R = 10.000 ohm circa C = 10.000 cm. circa

Abbiamo visto che la f.e.m. alternata di griglia non può oltrepassare per la B 443 i 6,5 V massimi.

Un potenziometro di 200.000 ohm almeno deve essere inserito sul secondario del trasformatore di accoppiamento permettendo così di evitare il sovraccarico della valvola quando

si riceve una stazione locale o una stazione di grande potenza (fig. 147).

La resistenza R inserita nel circuito di griglia schermo deve essere calcolata in maniera da produrre la stessa caduta di tensione di quella prodotta dalla resistenza di un altoparlante nel circuito di placca. In questa maniera questi due elettrodi sono esattamente allo stesso potenziale.

Le caratteristiche viste precedentemente ci indicano:

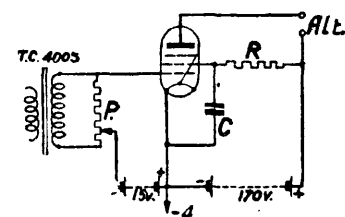
$$I_{gs} = 2{,}6 \text{ mA}$$
$$I_a = 12 \text{ mA}$$

La resistenza di un altoparlante elettromagnetico è di 1750 ohm circa, la caduta di tensione continua sarà allora:

Fig. 147.

$$1750 \times 0{,}012 = 21 \text{ V}$$

Per produrre la stessa caduta la resistenza R sarà:

$$\frac{21}{0{,}0026} = 8000 \text{ ohm circa}$$

Notiamo che per ottenere **150 V** sui due elettrodi, la tensione iniziale deve essere:

$$150 + 21 = 171 \text{ V.}$$

Nel caso di batterie di accumulatori la tensione generalmente usata (160 V) è indicatissima.

Con un alimentatore di placca dei tipi generalmente in commercio si può anche ottenere una tensione di 170 a 180 V necessari per il rendimento massimo di un pentodo di piccola potenza.

La capacità C di 2 μF permette alle correnti alternate della griglia di dirigersi direttamente sul catodo (filamento) senza passare per la resistenza R e quindi senza influenzare la tensione applicata all'elettrodo.

Per i pentodi non si può calcolare la potenza di uscita allo stesso modo che per i triodi. Si avrebbero dei valori superiori ai reali (quasi doppi). È preferibile il metodo ora visto.

La tabella seguente corrisponde a quella già riportata per i triodi:

Pentodo usato	Tensione alternata massima e_g in volt circa	Potenza di uscita W_u calcolata con la formula $W_u = \frac{1}{8} . K . S . e_g^2$	Potenza effettiva disponibile	Cubatura del locale per il qnale è sufficiente la potenza
Philips *B* 443	10	0,9	0,45	sala normale
» *C* 443	15	2,5	1,7-2	»
» *E* 443 *N*	23	11,9	4,5	750 m^3
» *F* 443	26	15,8	10,2	1250 »

Circa i valori dati valgono le stesse osservazioni fatte per i triodi.

Un paragone però tra la potenza utile erogata da un pentodo e quella erogata da un triodo porterebbe a delle conclusioni assolutamente false poichè un pentodo si comporta diversamente rispetto all'altoparlante, come abbiamo già accennato. Infatti il triodo riproduce le frequenze elevate in maniera meno bene delle frequenze basse mentre che il pentodo al contrario, è stato specialmente costruito per una riproduzione uniforme delle alte frequenze sonore.

Tra un pentodo e un triodo aventi la stessa *potenza utile* il pentodo permetterà di raggiungere una più grande *intensità sonora*.

Il pentodo produce una corrente molto più elevata per le frequenze elevate e poichè queste si trovano nel campo delle frequenze udibili, l'intensità sonora è molto più grande per il pentodo.

I dati riportati per i pentodi perciò devono essere comparati tra di loro e non *devono servire per un paragone tra i pentodi e i triodi finali.*

PARTE SECONDA.

LA CELLULA FOTOELETTRICA

CAPITOLO I.

La cellula fotoelettrica

Si sapeva da lungo tempo che la resistenza del selenio è, in certe condizioni, influenzata fortemente dalla luce. La resistenza, elevatissima quando il metallo non è illuminato, si riduce ad un piccolo valore quando esso è sottomesso ad una illuminazione abbastanza forte. È dunque possibile inserendo del selenio in un circuito a corrente continua trasformare così delle variazioni di luce in variazioni di corrente.

Questo fenomeno fu utilizzato per la prima volta dal Prof. Korn che costruì una ventina di anni fa a mezzo di una cellula al selenio un apparecchio per la trasmissione delle immagini corrispondente in molti punti al sistema attuale di fototelegrafia. Una delle cause per la quale i risultati non furono del tutto soddisfacenti era l'inerzia della cellula al selenio che rende un tale dispositivo praticamente inutilizzabile per le variazioni rapide e cioè le modificazioni dell'intensità luminosa non sono seguite immediatamente da variazioni corrispondenti della resistenza; un certo tempo trascorre tra questi due fenomeni così che il numero delle variazioni luminose che è possibile trasmettere è limitato.

Se la tecnica fosse rimasta ancora all'uso di queste cellule, non sarebbe stata possibile una soluzione pratica dei problemi che si presentano nella televisione e nel film sonoro.

È stato tuttavia dimostrato che è possibile costruire con altri principii una cellula che noi chiameremo *cellula fotoelet-*

trica che, pur avendo le stesse proprietà, non presenta l'inconveniente dell'inerzia.

Le cellule fotoelettriche utilizzano la proprietà che hanno i metalli e più particolarmente i metalli alcalini di emettere degli elettroni sotto l'azione della luce. Esse sono dei trasformatori, di debolissima potenza ed a cattivissimo rendimento, di energia luminosa in energia elettrica.

Una cellula fotoelettrica si compone di un'ampolla di vetro (talvolta anche di quarzo) tappezzata di uno strato sensibile alla luce che costituisce l'elettrodo negativo (catodo) di fronte al quale trovasi l'elettrodo positivo (anodo).

Il catodo è generalmente costituito da una superficie metallica formata per deposito di un sottilissimo strato di un metallo alcalino su una parte della parete interna dell'ampolla o anche su un altro supporto appropriato.

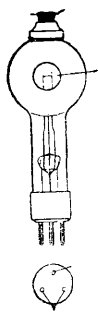
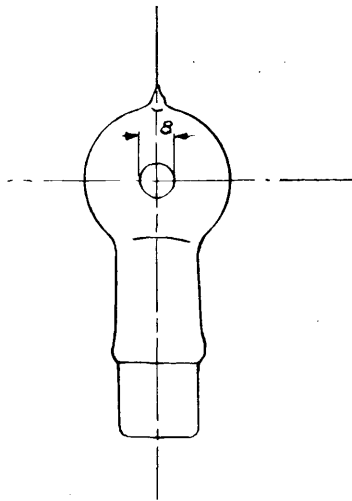



Fig. 148.

Fig. 149.

L'anodo è un metallo di qualsiasi natura costituito da un filo o da una placca la cui forma e le cui dimensioni dipendono da quelle dell'ampolla e dalla disposizione relativa degli elettrodi. Questi due elettrodi fanno capo all'esterno a due morsetti per la connessione al circuito esterno.

Le figg. 148 e 149 mostrano due cellule di costruzione moderna.

La fig. 150 mostra lo schema di montaggio esterno della cellula.

Esso viene usato nel caso in cui l'intensità della luce incidente non varia troppo rapidamente. La sensibilità della cellula cresce proporzionalmente col valore della resistenza R che di solito è di 20 a 40 megohm.

Non è conveniente però scegliere un valore troppo alto per questa resistenza perchè allora si verificherebbero delle

fughe accidentali, come p. es., tra griglia e filamento di una valvola amplificatrice.

Quando non occorre un'estrema sensibilità si può usare una resistenza minore, p. es., di 2 megohm. In questo montaggio la grande capacità del catodo sferico depositato nell'interno dell'ampolla, esercita un'influenza nociva quando l'intensità luminosa varia rapidamente. Infatti questa capacità tra i due elettrodi della cellula, unitamente alle altre due capacità griglia-filamento e griglia-placca della valvola amplificatrice cui la cellula viene collegata (e che sono tutte in parallelo), costituisce una capacità risultante C la quale si trova in derivazione sulla resistenza R (fig. 150). L'impedenza quindi tra la griglia ed il filamento della valvola, tra i quali elettrodi questa capacità si viene a trovare, diminuisce sempre di più quanto più alta è la frequenza delle oscillazioni; la tensione di griglia diventa allora più debole ed occorre perciò prevedere un'amplificazione maggiore per compensare questa perdita. In questo caso, che si presenta per i film sonori e per la televisione, è da preferirsi il montaggio della fig. 151 nel quale R_k è una resistenza in serie dell'ordine di 2 a 20 megohm ed il cui valore dipende dalla più alta frequenza che si desidera amplificare, nel senso che R_k cresce in ragione inversa della frequenza.

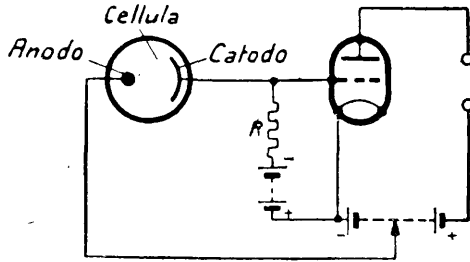
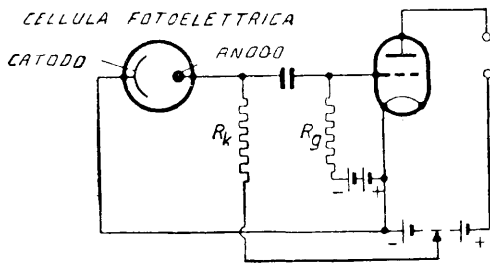



Fig. 150.

Fig. 151.

Il valore della resistenza di fuga R_g può essere di 2 a 3 megohm, la capacità del condensatore di accoppiamento C di 1000 cm. circa. Nell'oscurità completa una cellula fotoelettrica presenta una resistenza praticamente infinita quindi essa, se ben costruita, non deve erogare corrente nell'oscurità.

Esposta ad una luce anche molto debole la superficie che costituisce il catodo emette degli elettroni i quali sono accelerati dalla tensione anodica allo stesso modo di quanto avviene in una valvola termoionica. Questo spostamento di elettroni corrisponde ad una corrente nel circuito esterno anodo-catodo. Questa corrente « fotoelettrica » presenta la preziosa proprietà di essere proporzionale al flusso luminoso incidente, ma essa in generale è debolissima e non oltrepassa qualche μA nelle condizioni normali di funzionamento.

La fig. 152 mostra l'andamento di una tale corrente per una cellula del commercio. Sulle ascisse sono riportati i valori

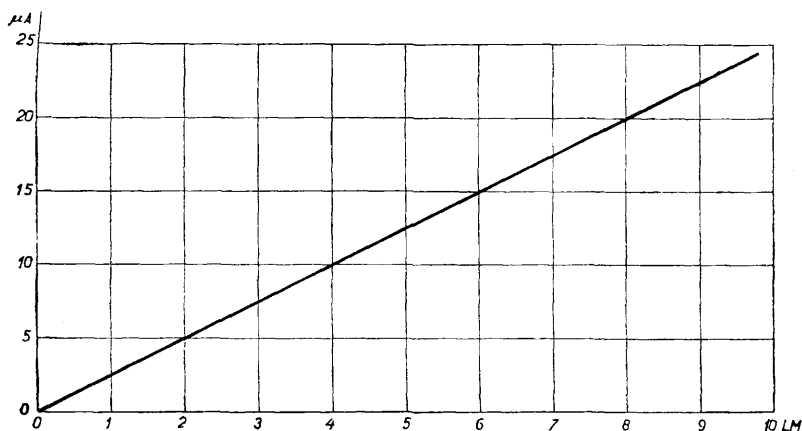



Fig. 152.

delle variazioni luminose in lumen e sulle ordinate i valori della corrente fotoelettrica in μA.

Il valore e l'andamento di questa corrente fotoelettrica variano secondo che la cellula è a vuoto spinto o a gas. In una cellula a vuoto spinto la corrente cresce col potenziale acceleratore (tensione anodica) fino a raggiungere un valore massimo detto di *saturazione*. A tal punto la corrente non aumenta più con l'aumentare del potenziale anodico ed essa può venire aumentata allora solo aumentando il flusso luminoso incidente.

Nella cellula a gas invece la corrente fotoelettrica cresce continuamente con l'aumentare della tensione anodica, ma a partire da un certo potenziale essa si « illumina » cioè diventa sede di una scarica luminosa corrispondente ad una corrente piuttosto intensa ma inutilizzabile perchè non dipende più dal flusso luminoso incidente.

La fig. 153 rappresenta l'andamento della corrente fotoelettrica in funzione del potenziale anodico per una cellula a vuoto e per l'illuminazione di un lumen.

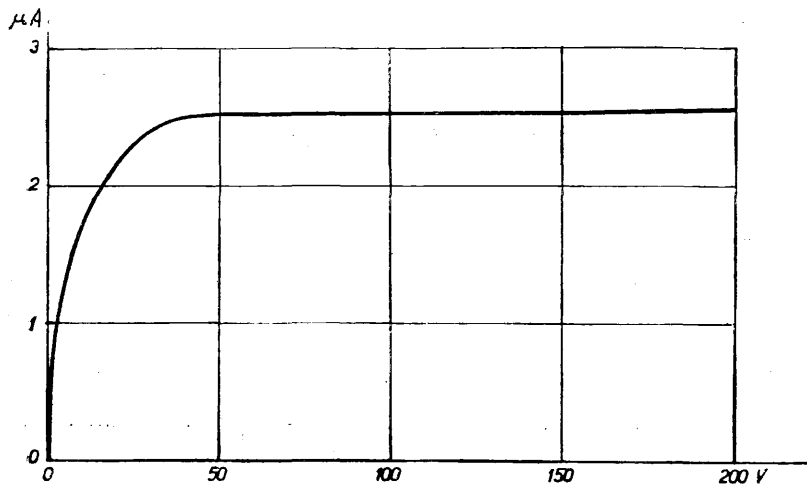



Fig. 153.

Si vede che la tensione minima per la saturazione è di 40 V. Una buona tensione anodica di lavoro è quella di 100 V. La sensibilità di questa cellula è di 2 μA circa per lumen. La fig. 154 si riferisce invece ad una cellula a gas per illuminazione di 0,1 lumen.

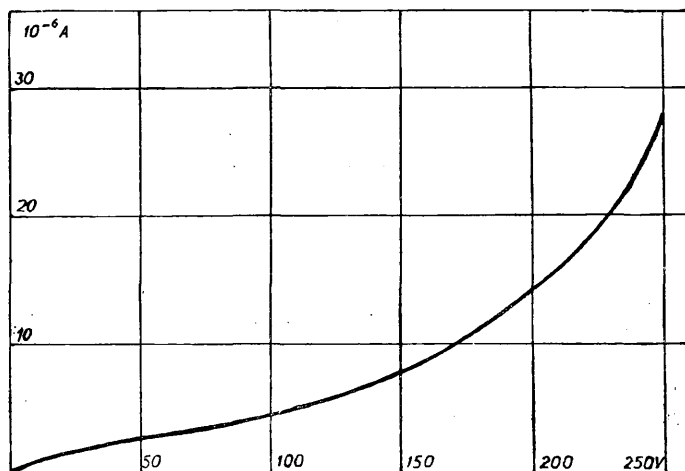



Fig. 154.

Si vede che la sensibilità di una tale cellula è almeno 8 volte più grande, a parità di tensione anodica, di una cellula a vuoto spinto.

In questo caso una buona tensione anodica di lavoro è quella di 200 a 220 V.

Cellula a vuoto o cellula a gas?

I fenomeni che avvengono in una cellula a vuoto sono perfettamente identici a quelli che si verificano in una valvola termoionica ricevente. Come in questa gli elettroni seguono rapidamente e senza alcuna inerzia le variazioni di temperatura del filamento così anche in una cellula a vuoto la

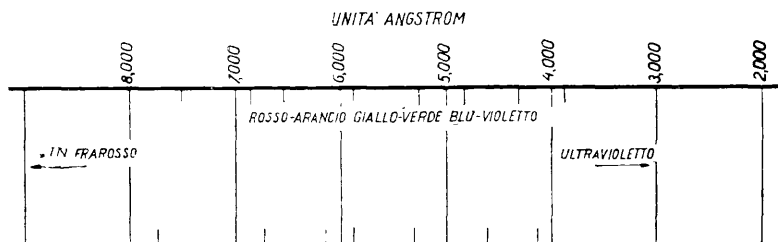



Fig. 155.

emissione degli elettroni segue immediatamente, senza alcuna inerzia, le variazioni luminose che colpiscono la superficie del catodo. In una cellula a gas il fenomeno sfruttato è invece lo stesso di quello che si sfrutta nelle valvole riceventi o raddrizzatrici a gas e cioè la «ionizzazione» del gas. In tal caso la emissione elettronica non può più rispondere perfettamente alle variazioni luminose incidenti se queste oltrepassano una data frequenza. Infatti la corrente fotoelettrica è dovuta non soltanto agli elettroni che si muovono verso l'anodo, ma anche agli joni positivi che si spostano verso il catodo. La velocità di questi ioni è molto più piccola di quella degli elettroni ed il tempo quindi di cui ha bisogno un jone per raggiungere da un dato punto, il catodo, è più grande di quello che ha bisogno un elettrone, nella cellula a vuoto delle stesse dimensioni, per raggiungere l'anodo. È quello che si verifica in pratica. Mentre con cellula a vuoto si possono seguire variazioni luminose anche superiori a 100 000 periodi/secondo, con

la cellula a gas la corrente diminuisce con l'aumentare della frequenza delle variazioni luminose.

La fig. 155 mostra la ripartizione dei colori nello spettro fotoelettrico. Le radiazioni dal rosso al violetto costituiscono lo « *spettro visibile* » mentre le zone dell'infrarosso (o raggi calorici) e dell'ultravioletto (o raggi attinici) costituiscono le zone dello spettro invisibile.

Le curve della fig. 156 si riferiscono ad una cellula a vuoto ed a tre tipi di cellule a gas. Si vede da queste curve (ricavate

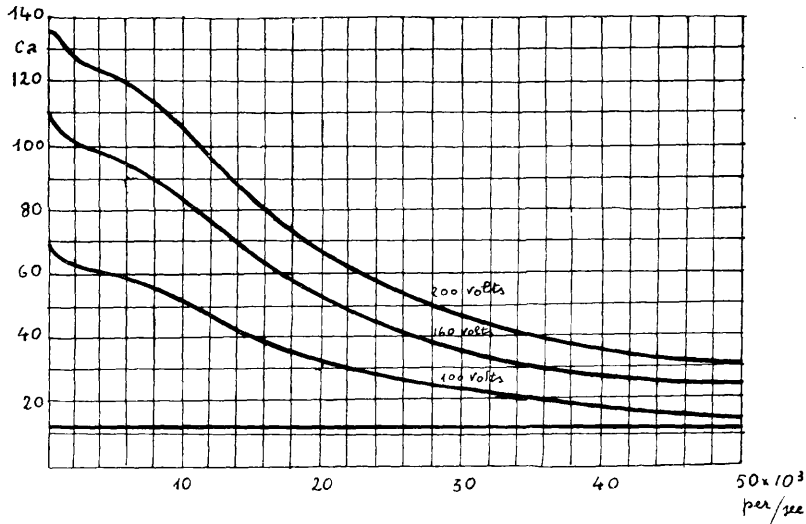



Fig. 156.

dal Metcalf) che mentre per la cellula a vuoto la corrente è indipendente dalla frequenza delle variazioni luminose entro i limiti da 0 a 50.000 periodi/secondo, per contro quella delle cellule a gas diminuisce sempre di più a mano a mano che la frequenza cresce fino ad avvicinarsi alla corrente della cellula a vuoto.

A 50.000 periodi/secondo la sensibilità di una cellula a gas non è più che il doppio di quella di una cellula a vuoto.

Da quanto abbiamo detto appare chiaro che mentre in una cellula a vuoto spinto la tensione anodica a partire da un certo valore non influenza quasi la corrente fotoelettrica, per ottenere lo stesso rendimento da una cellula a gas bisogna intensificare la ionizzazione e quindi sono necessarie delle ten-

sioni elevate per accelerare il movimento degli elettroni, perchè in tal caso l'urto tra elettroni e molecole gasose si produce con maggiore violenza.

Abbiamo già accennato tuttavia che se si eleva troppo la differenza di potenziale tra gli elettrodi di una cellula a gas, il suo funzionamento diventa instabile e la cellula s'illumina bruscamente dando luogo ad un passaggio di corrente.

Si ha l'impressione di avere la cellula in corto circuito; basta, in queste condizioni, che un solo elettrone sia emesso dal catodo anche sotto l'influenza dell'illuminazione debolis-

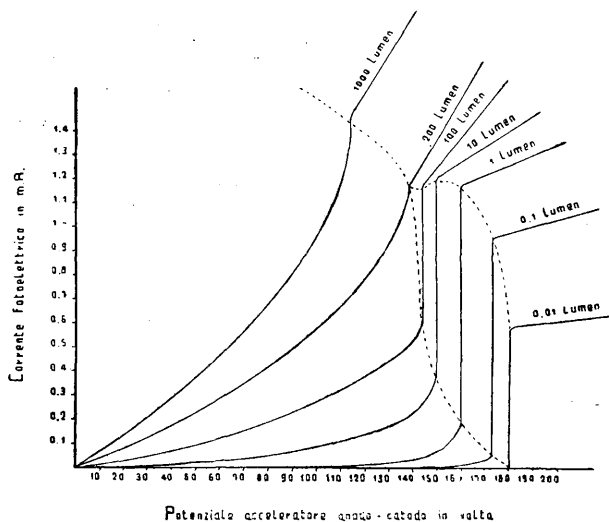



Fig. 157.

sima, perchè si mantenga tra gli elettrodi una catena di molecole ionizzate formanti un effluvio stabile. Il « potenziale d'illuminazione » varia secondo l'intensità d'illuminazione alla quale è sottoposta la cellula.

Le curve della fig. 157 mostrano come varia l'intensità della corrente fotoelettrica per differenti intensità d'illuminazione in funzione della tensione applicata agli elettrodi.

È chiaro che per gli scopi usuali per i quali viene usata la cellula fotoelettrica (televisione, film sonoro, ecc.) occorre che la cellula a gas abbia un potenziale inferiore a quello di illuminazione.

Costituzione delle cellule fotoelettriche.

Tanto per intenderci su quanto diremo in seguito definiremo come *intensità* di una cellula fotoelettrica l'intensità in μA della corrente fotoelettrica prodotta dal flusso luminoso di 1 lumen che colpisce il catodo. Per potersi rendere esattamente conto di come questo flusso luminoso possa colpire il catodo della cellula, diremo che la cellula fotoelettrica si presenta come mostra la fig. 158, sotto la forma di un'ampolla sferica la cui parete è totalmente argentata e quindi non lascia passare nell'interno i raggi luminosi.

Questi possono penetrare nell'ampolla solo attraverso la

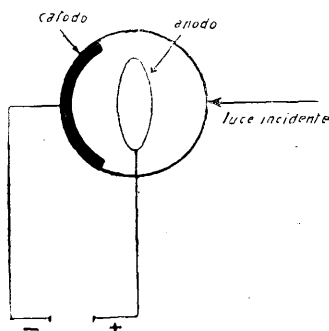



Fig. 158.

piccola finestra circolare. La superficie catodica è appunto opposta a questa finestra di apertura, mentre l'anodo, per lo più a forma di cerchio, è disposto quasi al centro della parte sferica dell'ampolla. Il flusso luminoso incidente si calcola con la formula $\varphi = \frac{S \times I^2}{R}$ lumen, dove:

S = superficie in cm² della finestra della cellula
I = intensità della sorgente luminosa in candele Hefner
R = distanza della sorgente luminosa dalla cellula.

Per poter comprendere il funzionamento esatto di una cellula fotoelettrica studieremo separatamente le caratteristiche degli elettrodi che la compongono.

Catodo.

L'elemento essenziale della cellula è il catodo il quale emette gli elettroni. L'emissione elettronica normale di qualsiasi superficie catodica cresce con la frequenza della radiazione incidente. A tal uopo è bene ricordare quanto abbiamo accennato a pag. 179 e cioè che le radiazioni dello spettro luminoso vanno da una frequenza minima del rosso alla frequenza massima del violetto e ultravioletto. La emissione elettronica del catodo passa per un massimo al di là dell'ultra violetto mentre diminuisce poi nella zona a frequenze elevate (raggi X).

Già da tempo il Broglie era arrivato alla concezione seguente:

1) quando si illumina un pezzo di materia, un metallo per es., con una certa luce questo metallo espelle degli elettroni in movimento più o meno rapido.

2) la velocità degli elettroni espulsi non dipende che dalla frequenza della radiazione incidente e dalla natura del metallo.

3) essa è indipendente dall'intensità della radiazione, ma il numero degli elettroni espulsi per secondo dipende da questa intensità.

4) l'energia degli elettroni espulsi varia in ragione diretta della frequenza.

Einstein in seguito ha riconosciuto che non si poteva spiegare questo fenomeno se non ammettendo una struttura corpuscolare della luce o piuttosto dell'etere.

Le moderne teorie sono più propense a ritenere corpuscolare la struttura dell'etere.

L'Einstein ammise che l'energia di traslazione di questi corpuscoli emessi è inversamente proporzionale alla frequenza della radiazione.

Che il numero di elettroni espulsi per secondo dipenda dall'intensità della radiazione è evidente quando si pensi che occorrono infatti tanto meno urti per espellere un elettrone quanto più l'intensità degli urti è grande, cioè quanto più l'intensità della radiazione è grande.

D'altra parte se noi consideriamo questi corpuscoli dell'effetto fotoelettrico, essi sono animati da un movimento oscillatorio sinoidale:

$$a = a_0 \operatorname{sen} 2 \pi \frac{t}{T}$$

ed hanno perciò una velocità

$$\frac{da}{dt} = \frac{2 \pi a_0}{T} \cos 2 \pi$$

ed una energia di traslazione

$$\frac{1}{2} m \left(\frac{da}{dt} \right)^2$$

la quale è proporzionale a $\left(\frac{a_0}{T} \right)^2$ e dipende quindi dalla frequenza $\frac{1}{T}$

Questo effetto fotoelettrico normale è però troppo debole per essere utilizzato nella parte visibile dello spettro che è quella che utilizzeremo per una cellula fotoelettrica.

Poichè il catodo di una cellula fotoelettrica deve essere sensibile alla luce visibile si fa uso di metalli i quali appunto presentano la particolarità di una emissione più forte nello spettro visibile.

Questi metalli sono metalli alcalini o alcalino-terrosi i quali

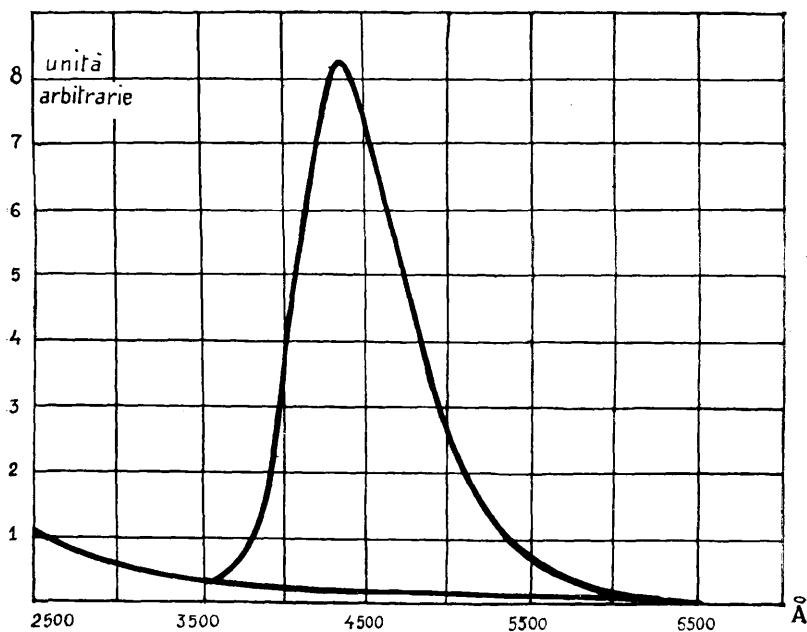



Fig. 159.

si differenziano dall'effetto fotoelettrico normale appunto per questo *effetto selettivo*: essi presentano un massimo di emissione molto acuta per una lunghezza d'onda compresa nello spettro visibile e variabile col metallo e con lo stato della sua superficie.

L'andamento del fenomeno è dato dalla fig. 159) ([1]).

Questo effetto selettivo però varia anche con l'incidenza della luce. Infatti esso è nullo se la luce cade normalmente su

---

([1]) Ricavata da uno studio della Signora Roy-Pochon.

una superficie catodica otticamente piana. Questa condizione nella cellula fotoelettrica è però sempre realizzata poichè la superficie catodica non è mai otticamente piana, ma abbastanza rugosa perchè siano realizzati sempre degli angoli di incidenza.

I metalli alcalini presentano il massimo di sensibilità nella parte visibile, mentre i metalli alcalino terrosi presentano il loro massimo più verso l'ultra violetto. Il metallo alcalino più usato nella costruzione delle cellule fotoelettriche sensibili alla

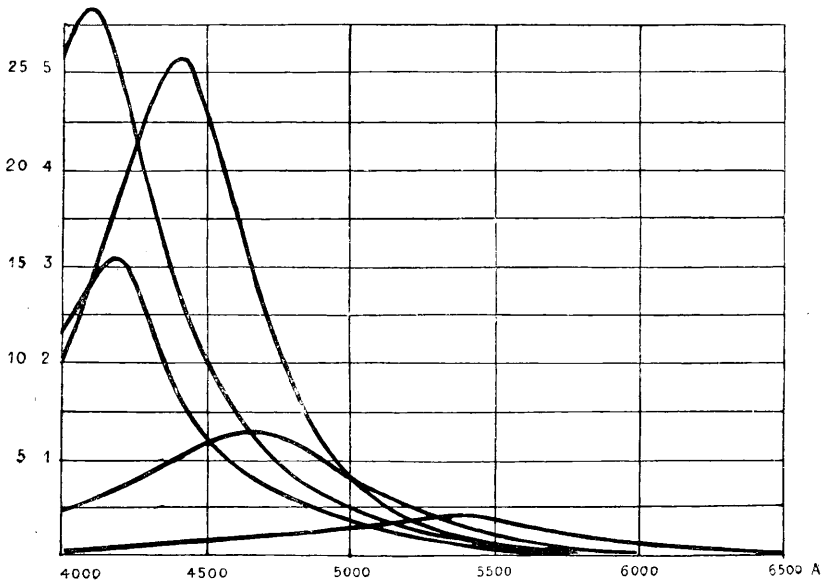



Fig. 160.

luce visibile è il potassio che presenta un massimo di sensibilità molto elevato verso il bleu (4400 angström).

Il cesio presenta una buona sensibilità più verso la luce rossa. Vi sono anche delle cellule fotoelettriche il cui catodo è preparato con rubidio o sodio le quali sono specialmente sensibili per l'ultra violetto. Pochissimo usate sono le cellule al litio.

La fig. 160 mostra le curve di sensibilità di catodi preparati con varii metalli alcalini o alcalino terrosi.

Sull'entità dell'emissione fotoelettrica ha influenza, come abbiamo accennato, oltre che la natura del metallo anche lo stato della superficie catodica.

Con la scoperta del fenomeno fotoelettrico fatta da Hertz nel 1887 e con le diverse esperienze fatte da molti altri scienziati, si sono potute stabilire le seguenti leggi a cui obbedisce il fenomeno stesso e che concordano con gli studi del Broglie;

1° gli elettroni emessi sono proporzionali alla quantità di energia ricevuta, indipendentemente dalla lunghezza d'onda della luce incidente;

2° la velocità degli elettroni emessi dipende dalla frequenza della luce eccitatrice e aumenta con l'aumentare di essa.

I metalli alcalini sono sensibili al fenomeno fotoelettrico, nello spettro visibile e la lunghezza d'onda limite è nel rosso o nell'infrarosso a seconda del metallo utilizzato come vedremo in seguito.

L'orientamento del vettore elettrico ha una grande importanza come abbiamo visto, ma al di là di un'incidenza di 60° l'intensità della corrente diminuisce e ciò perchè avvicinandosi all'incidenza radente, la totalità dell'energia luminosa viene diffusa.

Qualora l'assorbimento avvenga in uno strato più sottile, si può supporre che gli elettroni siano emessi più facilmente dalla superficie colpita dalla luce; ma è un'ipotesi perchè non si conosce lo spessore dello strato che emette gli elettroni. Molti esperimentatori hanno fatto delle prove su dei foglietti sottilissimi di platino o di altro metallo ottenendo risultati tangibili e confermando che la corrente fotoelettrica e l'energia degli elettroni sono più grandi nel lato opposto a quello sul quale cade la luce che non nel lato illuminato; perciò nelle cellule fotoelettriche il maggior effetto si potrebbe ottenere facendo incidere la luce sul metallo alcalino dal di dietro.

L'emissione fotoelettrica dipende, secondo lo studio della Pochon già citato:

a) dallo stato di purezza dello strato metallico superficiale e dall'esistenza o meno di bolle gasose aderenti o assorbite;

b) dallo spessore dello strato sensibile;

c) dalla natura del supporto di questo metallo.

L'influenza delle bolle gasose aderenti è stata provata in maniera indiscutibile.

I risultati mostrano che il potassio perfettamente puro, liberato completamente da qualsiasi traccia di ossigeno, non

presenta più l'effetto selettivo cioè l'emissione con la luce visibile.

Sembra quindi che la causa di questa selettività debba essere attribuita all'azione dei gas residui.

La fig. 161 mostra i risultati ottenuti da uno studioso di questo fenomeno, il Suhrmann, relativa ad un catodo di platino.

La curva *a* si riferisce al platino non degasificato, mentre le altre curve si riferiscono allo stesso catodo degasificato in un vuoto spinto per l'accensione fino all'incandescenza.

La curva *b* è stata rilevata dopo l'accensione di 10 se-

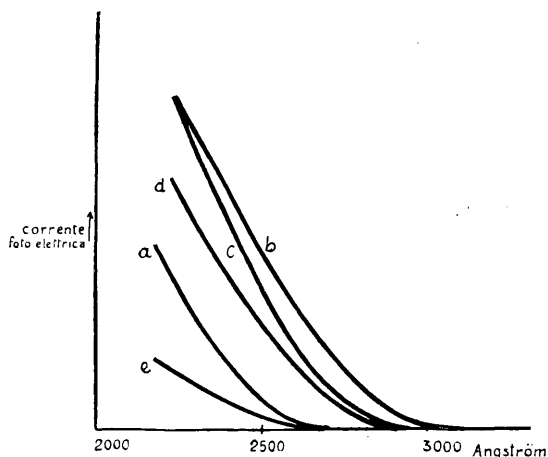



Fig. 161.

condi, la curva *c* dopo 60 secondi, la curva *d* dopo 4000 secondi e la curva *e* dopo 8000 secondi.

Sembra che i gas che producono l'intensificazione di questo effetto fotoelettrico siano principalmente l'ossigeno, l'idrogeno e il vapore d'acqua.

Ulteriori studi hanno portato a riconoscere anche un certo aumento di sensibilità al rosso e all'infrarosso quando le superfici dei metalli alcalini si trattano con piccole quantità di vapore di zolfo, di benzina e di coloranti organici.

L'azoto non sembra avere un'influenza notevole sull'effetto fotoelettrico.

Secondo il citato studio della Pochon una eccessiva quantità di gas distrugge la sensibilità.

Per la formazione allora del catodo delle comuni cellule al potassio si procederà nella seguente maniera:

a) formato lo strato di potassio si pratica nella cellula il vuoto spinto;

b) si introduce in seguito dell'idrogeno sotto la pressione di qualche mm. di mercurio;

c) si fa passare attraverso gli elettrodi una scarica più o meno prolungata fino a quando si constata che la sensibilità è massima;

d) si pratica in seguito il vuoto definitivo. Prima di saldare l'ampolla, se si vuole avere una cellula a gas, si introduce un gas inerte sotto la pressione dell'ordine di 1/10 di millimetro.

Se si vuole trovare una spiegazione a questo aumento di sensibilità per effetto dell'introduzione del gas, dobbiamo pensare alla formazione di un leggero strato di idrogeno superficiale o alla formazione di un idruro di potassio o di potassio colloidale; ma sono tutte ipotesi che non si sono potute controllare.

Poichè la presenza di traccie gasose non nuoce, anzi giova alla sensibilità, non è neanche necessario degasificare al massimo gli elettrodi e ciò semplifica molto la fabbricazione delle cellule, si rende però più difficile la lavorazione in serie poichè riesce più difficile avere delle cellule perfettamente eguali l'una all'altra.

Secondo il Campbel uno strato sottilissimo (invisibile) possiede una emissione caratteristica del tutto diversa da uno strato spesso del metallo stesso. In generale il metallo alcalino in strato sottilissimo si presta di più per la parte a breve lunghezza d'onda dello spettro. Le figg. 162 e 163 mostrano i risultati ottenuti dal Campbel.

Nella fig. 162 la curva *a* si riferisce ad uno strato spesso di potassio sensibilizzato, la curva *b* ad uno strato sottile su argento non ossidato e la curva *c* ad uno strato sottile su rame ossidato.

Si vede che il deposito di potassio su argento non ossidato ha per effetto di spostare il minimo verso il rosso e di ridurre molto la sensibilità verso il bleu. Sul rame ossidato la perdita di sensibilità verso il bleu è ancora maggiore.

La fig. 163 si riferisce ad una cellula al cesio, la curva *a* per uno strato spesso e le curve *b* e *c* per uno strato sottile di

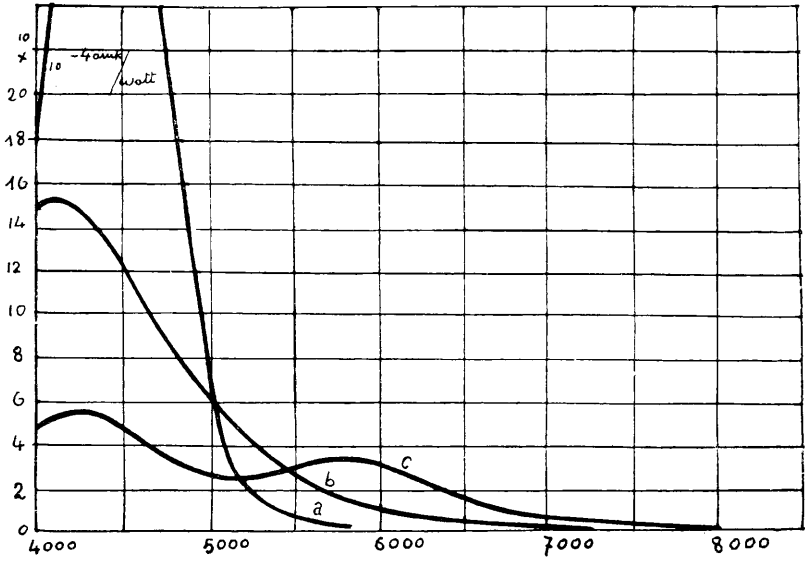



Fig. 162.

cesio su argento ossidato con due metodi differenti. Il cesio in strato spesso presenta un massimo di sensibilità verso i 5500 Å, mentre il cesio in strato sottile su argento ossidato

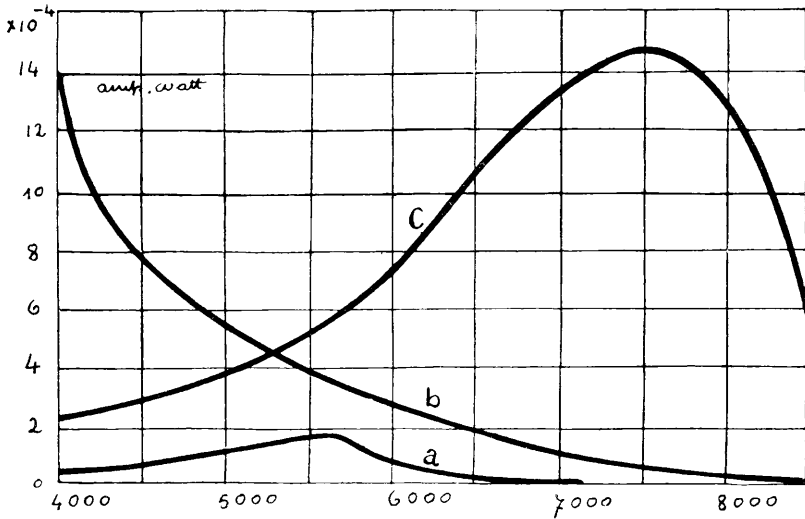



Fig. 163.

non presenta più alcun massimo nello spettro visibile, ma lo ha spostato verso l'ultravioletto nel caso *b* e verso l'infrarosso caso *c*. Anche col litio si sono ottenuti risultati analoghi.

Da tutto quanto esposto si può dedurre che per avere un'efficiente cellula fotoelettrica col sistema del metallo alcalino è necessario:

a) che questo metallo sia granuloso e non lucente affinchè non rifletta energia luminosa;

b) che lo strato sia sottile per l'ipotesi confermata che gli elettroni vengono emessi più facilmente;

c) è indispensabile avere sotto lo strato granuloso di metallo alcalino uno strato lucente per riflettere l'energia luminosa. Affinchè gli elettroni possano rimbalzare indietro questo strato lucente potrebbe anche essere formato al di fuori dell'ampolla oppure sulla superficie esterna.

d) la cellula può essere costituita anche da due lamine sottilissime di metallo (di 10^{-7} cm. di platino); la luce colpisce una lamina ed il bombardamento elettronico si effettua tra la faccia non illuminata di questa lamina e l'altra.

Per quanto le cellule siano poco variabili, col tempo si appalesano delle modifiche nello strato di metallo, per cui la sensibilità fotoelettrica non presenta un'assoluta stabilità.

I metalli alcalini nel vuoto, in modo assoluto non presentano stanchezza al fenomeno; e per altro l'effetto fotoelettrico è rigorosamente indipendente dalla temperatura.

Per fabbricare una cellula in metallo alcalino, il metallo s'introduce nella cellula allo stato di vapore dopo una o parecchie distillazioni nel vuoto e mentre si stabilisce questo deposito sull'ampolla, nell'interno di essa si riscalda la zona che deve rimanere senza deposito (finestra della cellula) oppure si copre questa parte con un dischetto di mica che in seguito si fa cadere nel collo dell'ampolla con un piccolo colpo. Il supporto del catodo viene mantenuto freddo. Per ottenere un grande lavoro in serie si segue anche il procedimento d'introdurre nell'ampolla un sale del metallo alcalino che si decompone in seguito col calore di alta frequenza o di una stufa.

Il potassio, conservato nel petrolio, viene distillato in un tubo come quello riportato in fig. 164 nel quale viene praticato il vuoto più spinto.

Il potassio distillato viene raccolto nel tubo inferiore 3 dal quale se ne raccoglie qualche centimetro cubico che viene immesso nella cellula (fig. 165). La purificazione dell'idrogeno si fa a mezzo di un osmo regolatore che utilizza la proprietà del platino portato al rosso, di non lasciare passare che l'idrogeno.

Fig. 164.

Nelle cellule al potassio e al sodio il catodo si può formare anche col metodo Burth per « elettrolisi » del vetro; si immerge l'ampolla di vetro in un sale fuso del metallo alcalino mentre nell'interno dell'ampolla si trova un filamento che può venire acceso. Avvenuta l'immersione si stabilisce una tensione di un centinaio di Volt tra questo filamento (polo negativo) ed il sale fuso (polo positivo). Il filamento viene intanto acceso così che esso emette degli elettroni. Gli ioni positivi alcalini del sale penetrano nel vetro e spostano un numero equivalente di ioni dello stesso metallo inizialmente racchiusi nel vetro; questi ultimi raggiungono la parete interna dell'ampolla e vengono neutralizzati dagli elettroni emessi dal filamento; i vapori metallici così prodotti si condensano sulla parete raffreddata dell'ampolla. Si ha così una superficie catodica la quale però risulta piuttosto riflettente e, per ciò che abbiamo detto più sopra, essa non presenta perciò una eccessiva sensibilità.

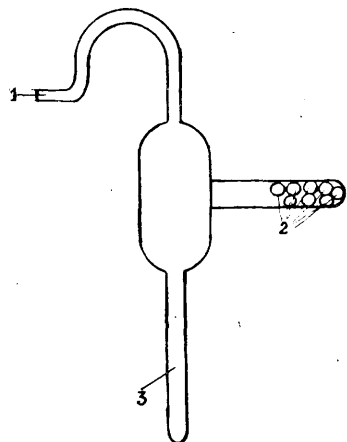
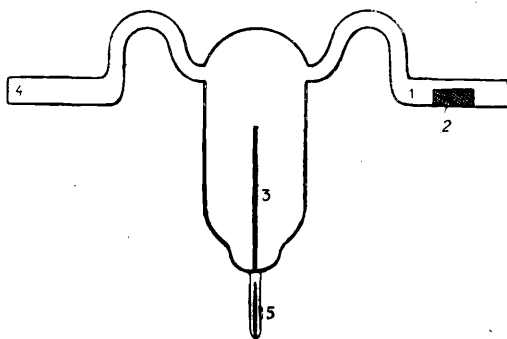



Fig. 165.

Si potrà aumentare di molto la corrente selettiva provocando una modificazione dello strato superficiale trattando il metallo con la scarica elettrica in una atmosfera di idrogeno alla pressione di

mezzo millimetro; il trattamento di qualche secondo basta a provocare questa modificazione che si manifesta con una colorazione caratteristica molto viva, a seconda dei metalli. Pel potassio, che è il metallo più comunemente usato, si ha un bel color violetto, dovuto ad una disposizione laminata (pellicolare) di idruro.

Per poter aumentare l'intensità della corrente, comunemente si utilizza la ionizzazione per urti nelle cellule a gas immettendo nelle ampolle un gas inerte, elio, argon o neon poichè solo con questi gas l'urto degli elettroni con le molecole riesce perfettamente elastico. Gli elettroni che al momento dell'urto hanno una velocità troppo piccola per provocare la ionizzazione, non subiscono perdite di energia, ma quelli con velocità sufficiente la perdono tutta nell'urto e producono due ioni di segno contrario. Essendo la pressione molto debole (ordine del millimetro) lo ione negativo che nasce è un elettrone libero che, con l'influenza del campo elettrico si orienta anch'esso verso l'anodo, producendo dei nuovi ioni. Il gas impiegato deve essere molto puro perchè tracce di gas estranei, sopratutto se sono elettropositivi, sono nefasti per la sensibilità.

Per ricavare una legge di proporzionalità non empirica, tra la corrente e la tensione di una cellula i principali elementi da evitare sono:

1) la corrente di oscurità;

2) l'accumulazione di cariche elettriche del vetro dell'ampolla che reagiscono sulla ripartizione del campo elettrico, nell'interno della cellula.

Con l'assenza d'ogni luce (col che nessun elettrone lascia la superficie del metallo) la cellula risulterebbe, come abbiamo detto, avere la sua resistenza infinita; ma a causa della carica che si sposta alla superficie del vetro, viene a crearsi una corrente di oscurità dello stesso senso della corrente fotoelettrica e che se non si può annullarla, si può almeno renderla molto piccola munendo il catodo e l'anodo di *anelli di guardia* messi a terra, che servono anche alla protezione della cellula stessa (fig. 166).

Gli elettroni non raccolti dall'anodo, raggiungono facilmente la parete di vetro, e così delle cariche elettriche si accumulano e modificano naturalmente il campo nell'interno, inconveniente grave per l'inerzia della cellula, ma rimediato col fare la retina dell'anodo a maglie strette.

La legge di proporzionalità è tanto più ottenibile quanto più l'intensità della luce è debole.

La cellula comunemente va montata in una scatola di metallo con le pareti interne annerite e messa in comunicazione con la terra.

Come dianzi accennato, per la sua stessa natura, il fenomeno fotoelettrico non presenta inerzia. Alcuni fenomeni secondari però possono farla apparire.

Questi possono essere dati dalla lentezza relativa colla quale le cariche elettriche raggiungono le pareti e si spostano sul vetro tra le granulazioni del metallo attivo. Siccome le cariche reagiscono sul campo elettrico interno e quindi sulla traiettoria degli elettroni, occorre perciò un tempo anche minimo perchè lo stato di regime si stabilisca; per cui si può avere una inerzia apprezzabile. Per prevenire ciò si usa inargentare tutto l'interno dell'ampolla meno la finestra di entrata, e con tale accorgimento non si possono accumulare sulle pareti cariche nocive.

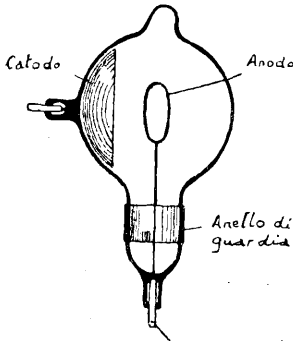



Fig. 166.

Il professor Bloch, esperimentando con una cellula al potassio, e facendo pervenire la luce attraverso buchi fatti su un disco rotante (con la cellula in circuito con una pila, un milliamperometro ed un telefono) ha dimostrato che fino al limite della frequenza udibile, la corrente fotoelettrica segue le variazioni della luce. Quindi si deduce che l'emissione fotoelettrica si produce per la durata di luce inferiore a 1/2000 di secondo.

Anche Marx e Lichtenecker hanno dimostrato che la corrente fotoelettrica si produce per durata ancora minore, e con l'esperienze di questi due scienziati, risulta che l'emissione fotoelettrica si produce egualmente con un'energia incidente eguale a 0,56 erg./sec. per cm^2 con intervalli fino a 10^{-7} sec.

Abbiamo già parlato dell'inerzia delle cellule a gas.

La *stanchezza fotoelettrica* non esiste per i metalli alcalini nel vuoto, e numerosi sperimentatori sono d'accordo su questo punto. Un fenomeno che afferma tale asserto sulla assenza di

stanchezza è che la sensibilità invece di essere ridotta con la esposizione alla luce è in generale aumentata.

L'anodo.

La forma dell'anodo determina nella cellula fotoelettrica la forma del catodo, essa perciò è tutt'altro che trascurabile.

La natura della sostanza dell'anodo non ha teoricamente alcuna importanza, mentre la sua forma e la sua disposizione rispetto al catodo determinano l'intensità e la ripartizione del campo elettrico nell'interno dell'ampolla.

Non è possibile avere un anodo a forma di placca piana e parallela al catodo, come sarebbe desiderabile per avere un campo uniforme nell'interno, perchè esso intercetterebbe la luce che deve colpire il catodo.

Per avvicinarsi a questa condizione ideale si fa l'anodo in forma di griglia metallica o di filo avvolto a spirale.

In molti tipi di cellule l'anodo è anche costituito da un filo rettilineo di fronte a un catodo sferico (questa disposizione del catodo sferico permette di utilizzare al massimo la luce per la moltiplicazione del numero di riflessioni sulla sua superficie).

Un'altra disposizione usata in Francia è quella di un catodo emisferico e di un anodo rettilineo

Alcune cellule a gas così costituite funzionano in una zona compresa tra la scarica normale e quella d'illuminazione con grande sensibilità, ma con emissione intermittente; sono cellule utilizzate quasi esclusivamente per segnalazioni, data l'intensità della corrente che si può avere con esse.

Un tipo di cellula moderno costruito specialmente in Francia presenta due anodi sotto forma di anelli l'uno dietro l'altro e un catodo sferico sul vetro. L'anello interno serve come anodo ausiliario e viene portato ad un potenziale positivo molto elevato per accelerare la velocità degli elettroni, ma meno elevato di quello dell'anodo principale. In tal modo la corrente fotoelettrica viene notevolmente aumentata. Nel circuito dell'anodo ausiliario (anello interno) si inserisce una resistenza di 100.000 ohm circa quando si utilizza la corrente del catodo, quando cioè si collega direttamente il catodo della cellula alla griglia della valvola amplificatrice e di 10 megohm circa quando invece si collega l'anodo normale (anello esterno) alla griglia di tale valvola.

Gas.

I gas inerti che si utilizzano per il riempimento delle cellule a gas sono, come abbiamo già visto, l'argon, il neon e l'elio. La natura del gas non sembra avere però grande influenza sull'andamento della corrente.

La pressione del gas deve essere dell'ordine di 1/10 di mm. generalmente più elevata per l'elio.

Vetro dell'ampolla.

Si adotta generalmente il cristallo o il pyrex, che sopportano forti differenze di temperatura, per le cellule sensibili alla luce visibile. Per le cellule sensibili all'ultravioletto è preferibile il quarzo che è permeabile ai raggi ultravioletti fino a 2500 Å. Si può anche fare uso in tal caso di una cellula in vetro con una finestra saldata in quarzo per il passaggio della luce.

Calcolo della corrente fotoelettrica.

Ci riportiamo per il calcolo di questa corrente al calcolo della corrente anodica di una valvola termoionica.

Riportiamo in fig. 167 il circuito di connessione di una valvola e in fig. 168 quello di una cellula.

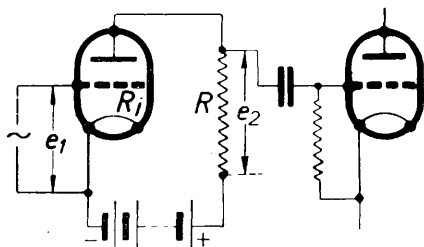
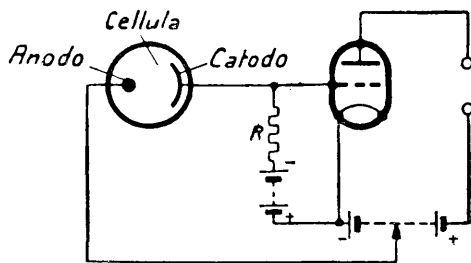



Fig. 167. Fig. 168.

Se K è il coefficiente di amplificazione della valvola di resistenza interna Ri, per la legge di ohm si ha (fig. 167):

$$i_a = \frac{K\, e_g}{R + R_i} = \frac{\frac{K}{R_i} \cdot e_g}{\frac{R}{R_i} + 1}$$

e ricordando che $R_i \times S = K$ ossia $\frac{K}{R_i} = S$ si ha:

$$i_a = \frac{S \cdot e_g}{1 + \frac{R}{R_i}}$$

che ci porterebbe alla conclusione che per avere una grande corrente anodica si dovrebbe avere una resistenza esterna R la più piccola possibile.

A noi interessa però avere non una grande corrente anodica, in questo caso, ma una grande amplificazione per stadio cioè un grande valore del rapporto $\frac{e_2}{e_g}$ e ricordando allora che $e_2 = R\, i_a$ si ha:

$$e_2 = R \frac{K e_g}{R + R_i} = K \frac{e_g}{1 + \frac{R_i}{R}}$$

da cui

$$\frac{e_2}{e_g} = K \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R}}$$

e questo rapporto è massimo quando R è il più grande possibile. Un valore ottimo si ha quando R è dell'ordine di grandezza di R_i.

Nel circuito della cellula seguiamo lo stesso ragionamento; la tensione eccitatrice in questo caso è data dal flusso luminoso l, così che se chiamiamo con S la grandezza $\frac{di_a}{dl}$ che ci rappresenta la pendenza della caratteristica corrente-flusso luminoso, cioè quella grandezza alla quale comunemente diamo il nome di *sensibilità* della cellula, la forza elettromotrice disponibile provocante l'espulsione degli elettroni, sarà $S \times l$ e chiamando ancora con R_i la resistenza interna della cellula e con Z l'impedenza esterna sarà la corrente fotoelettrica:

$$i_a = \frac{S \times l}{1 + \frac{R_i}{Z}}$$

La resistenza interna R_i sarà evidentemente data da $R_i = \frac{d\,e_a}{d\,i_a}$ così che potremo chiamare *conduttanza* della cellula il valore $\frac{d\,i_a}{d\,e_a} = \frac{1}{R_i}$.

Esso rappresenta la pendenza della curva corrente anodica-tensione anodica. Se indichiamo con G la *conduttanza per lumen* ossia il valore $\frac{1}{l}\,\frac{d\,i_a}{d\,e_a} = \frac{1}{l\,R_i}$ noi potremo scrivere:

$$i_a = \frac{S \times l}{1 + l\,G\,Z}$$

ed è questa la formula trovata dal Metcalf la quale si presenta del tutto analoga a quella relativa alle valvole termoioniche.

Mentre in questo caso delle valvole la corrente anodica è proporzionale alla tensione di griglia e_g, nella cellula la corrente fotoelettrica è proporzionale al flusso luminoso l.

Si ha la massima corrente anodica, per una data *sensibilità* della cellula e per un dato flusso luminoso quando l'impedenza esterna Z è minima. In tal caso si ha anche una maggiore proporzionalità tra la corrente fotoelettrica ed il flusso luminoso. Con un ragionamento analogo a quello seguito per la valvola termoionica si trova però che un valore minimo di Z non sempre corrisponde al rendimento massimo ed un valore ottimo di tale impedenza è stato precedentemente riportato in vari casi particolari.

Le applicazioni delle cellule fotoelettriche.

Le applicazioni delle cellule sono numerosissime e non poche hanno permesso uno sviluppo impensato di alcuni rami dell'industria (film sonoro), mentre altre sono sulla soglia di applicazioni pratiche del più grande interesse (televisione). Ma accanto a queste grandi applicazioni tutta una serie di applicazioni minori conduce a dispositivi di grande utilità e di grande sensibilità.

Le applicazioni delle cellule fotoelettriche si possono dividere nelle seguenti categorie.

a) quelle in cui la cellula deve essere sensibile a va-

riazioni piccolissime di intensità luminosa. Tra queste vanno menzionate le applicazioni seguenti:

1) film sonoro (sistema Movietone o Photophone).

2) telefototelegrafia.

3) interruttore automatico per l'accensione o lo spegnimento della luce pubblica al tramontare e al levare del sole.

4) televisione.

b) quelle nelle quali la cellula deve funzionare quando s'interrompe un raggio di luce che la colpisce continuamente o quando viene colpita da un raggio di luce nell'oscurità. In questa categoria possiamo annoverare:

1) contatori elettrici della circolazione: tutti i passanti, tutte le vetture ecc. sono contati automaticamente quando essi intercettano un raggio di luce diretto sulla cellula.

2) registrazione del passaggio di corridori al traguardo nel campo di corse.

3) protezione contro il furto. La cellula fotoelettrica funziona quando viene colpita da un qualsiasi raggio luminoso, anche quello di un cerino, o quando s'interrompe un raggio luminoso che la colpiva continuamente.

4) ricerche scientifiche come il dosaggio chimico, nel qual caso la cellula fotoelettrica svela la minima traccia di liquido.

5) come avvisatore d'incendio. Appena un po' di fumo va a interrompere il raggio luminoso continuo della cellula, questa aziona un avvisatore e mette in funzionamento gli apparecchi estintori.

6) controllo di oggetti che devono avere esattamente le stesse dimensioni. Con la cellula fotoelettrica si possono immediatamente constatare le irregolarità dell'oggetto in esame il quale intercetterà maggiore o minore quantità di luce secondo le sue dimensioni.

7) come segnale orario; una lampada proietta un raggio luminoso sulla cellula fotoelettrica attraverso un foro del quadrante. La lancetta dei secondi intercetta, ogni minuto, il raggio luminoso.

8) accensione da bordo di un aeroplano, dei proiettori di un campo di aviazione. La cellula fotoelettrica colpita dal fascio di luce lanciato dall'areoplano permette questa accensione.

9) come avvisatore nei passaggi a livello non guardati; la cellula colpita dal fascio di luce di un auto mette in azione un segnale di allarme.

10) per controllare se una caldaia a gas o a olio funziona bene o no; quando la fiamma si spegne viene dato l'allarme a mezzo di una cellula fotoelettrica la quale nello stesso istante chiude la conduttura del combustibile.

11) negli osservatori astronomici. Il momento in cui una stella passa al meridiano è registrato con grande precisione a mezzo di una cellula fotoelettrica; in tale momento la luce della stella viene proiettata con un sistema ottico sulla cellula così che questo passaggio resta registrato elettricamente.

12) come installazione di sicurezza nelle macchine pericolose. Le parti pericolose della macchina sono protette da un fascio di raggi diretti sulla cellula. Quando una mano o qualche oggetto intercetta questi raggi, la macchina viene automaticamente fermata.

13) apertura automatica di porte. Questo interessa i caffè, i ristoranti, dove i camerieri, avendo le mani ingombre, devono aprire ogni giorno per molte volte le stesse porte.

In tutte le applicazioni di questa categoria *b*) la cellula agisce su un dispositivo meccanico che prende il nome di *relais* il quale è quello che dà il segnale di allarme o che permette il funzionamento dell'organo opportuno (servomotore).

Per il funzionamento di questo relais, rappresentato nella fig. 169, la corrente della cellula è troppo piccola e allora essa si amplifica a mezzo di una o più valvole termoioniche. La cellula più adatta in questo caso è quella a vuoto a causa del suo funzionamento costante e del suo montaggio facile ed è preferibile una cellula con grande apertura della finestra.

La corrente di uscita della valvola termoionica e che va ad agire sul relais è, come è noto, di qualche mA perciò occorre che il relais sia sensibile a una corrente così debole. Esso è del tipo telefonico costituito da una elettrocalamita a grande sensibilità che attira o rilascia un'ancoretta la quale apre o chiude il circuito di una sorgente elettrica locale che aziona il servomotore.

c) quelle applicazioni in cui l'intensità luminosa deve essere misurata per un tempo determinato:

1) come fotometro per la determinazione del flusso luminoso di una lampada.

2) come luxmetro per la misura dell'intensità della luce del giorno.

3) per il controllo della quantità di carbone (nero) nel fumo uscente da un camino. Questo fumo viene continuamente attraversato dal raggio di luce che colpisce la cellula fotoelettrica.

d) misure di differenti qualità di luce (colori). Per queste applicazioni sono importanti:

1) i lavori di dosaggio delle sfumature per es. di tessuti,

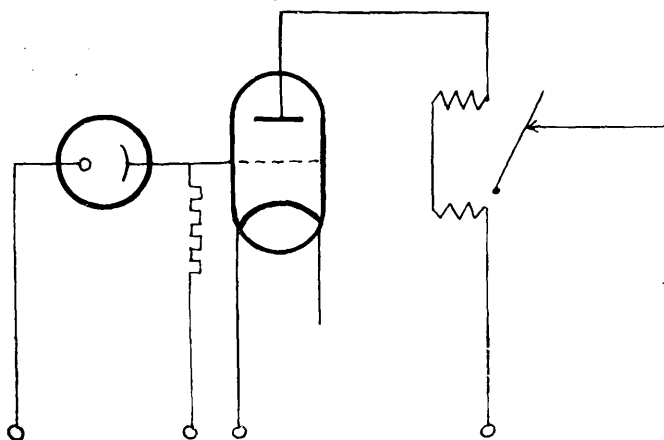



Fig. 169.

di fili da cucire, ecc. Questi oggetti presentano debolissime differenze di colore; essi vengono uniformemente illuminati e la luce da essi riflessa viene diretta sulla cellula fotoelettrica (fotocolorimetro).

Noi parleremo di alcune delle più importanti applicazioni sopra accennate.

Una prima applicazione ormai entrata nel campo pratico è quella del film sonoro. La figura 170 ci mostra come vengono registrati i suoni sulle moderne pellicole sonore.

Questi suoni vengono trasformati in corrente elettrica dal microfono e questa corrente opportunamente amplificata va a modulare la luce di una lampada al néon la quale impressiona più o meno (secondo l'intensità dei suoni e quindi secondo l'intensità della corrente corrispondente) l'emulsione sensibile

della pellicola in una striscia laterale accanto alla fotografia del film.

La fig. 171 mostra come viene riprodotto un simile film.

Esso passa con moto continuo davanti alla luce costante di una lampadina. Questa luce passando attraverso gli strati più o meno trasparenti impressi lateralmente sulla pellicola e che rappresentano la fotografia del suono trasmesso davanti al microfono all'atto dell'impressione, va a colpire la cellula fotoelettrica la quale eroga una corrente corrispondente più o meno intensa. E questa corrente che è opportunamente amplificata, va a far agire gli altoparlanti disposti dietro lo schermo. Il principio, come si vede, è abbastanza semplice

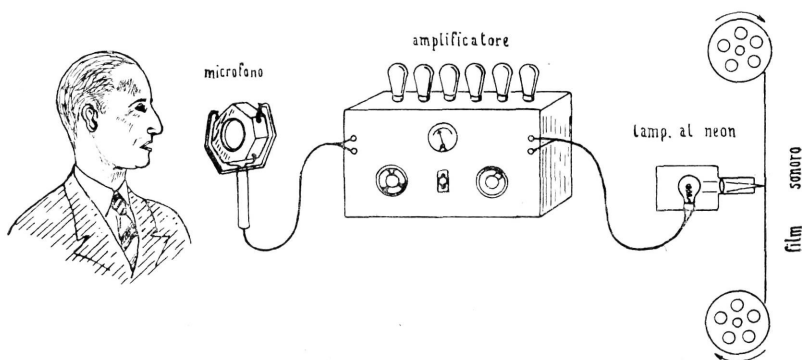



Fig. 170.

ma quante difficoltà prima di arrivare alla perfezione del cinema sonoro di oggi!

Un'altra applicazione della cellula, della categoria *a*), è quella delle installazioni per l'inserzione e la disinserzione automatica della luce stradale. Oggi, come è noto, questa manovra si fa a mezzo di orologi i quali inseriscono o disinseriscono la luce ad un'ora preventivamente fissata.

Questo metodo ha naturalmente degli svantaggi perchè nelle giornate nebbiose o piovose nelle quali l'oscurità viene prima, il bisogno della luce elettrica pubblica si fa sentire prima dell'ora stabilita, mentre nelle giornate particolarmente chiare l'inserzione della luce pubblica può avvenire più tardi dell'ora media stabilita dall'orologio automatico.

Occorre quindi mettere a posto questi orologi col tempo, e in ogni caso con le stagioni per tenere conto appunto di

altoparlanti
schermo
amplificatore
proveniente dal
proiettore
pellicola
movimento a scatti
movimento continuo
sistema ottico
lamp. eccitatrice
cellula fotoelettrica

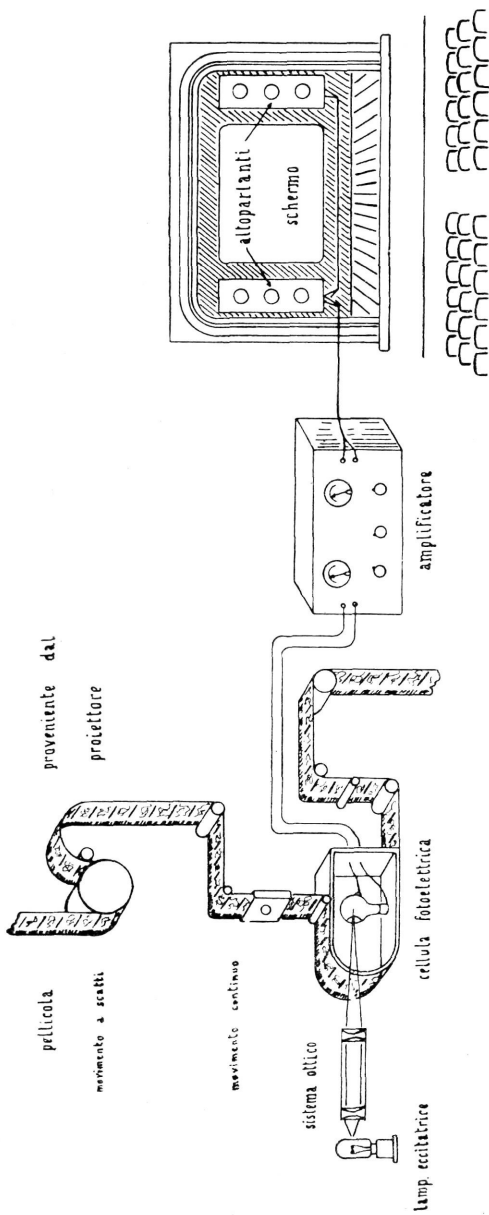



Fig. 171.

questa diversa ora in cui deve avvenire l'accensione e lo spegnimento della luce pubblica.

A mezzo della cellula fotoelettrica si può costruire un apparecchio il quale può agire come relais per l'accensione o lo

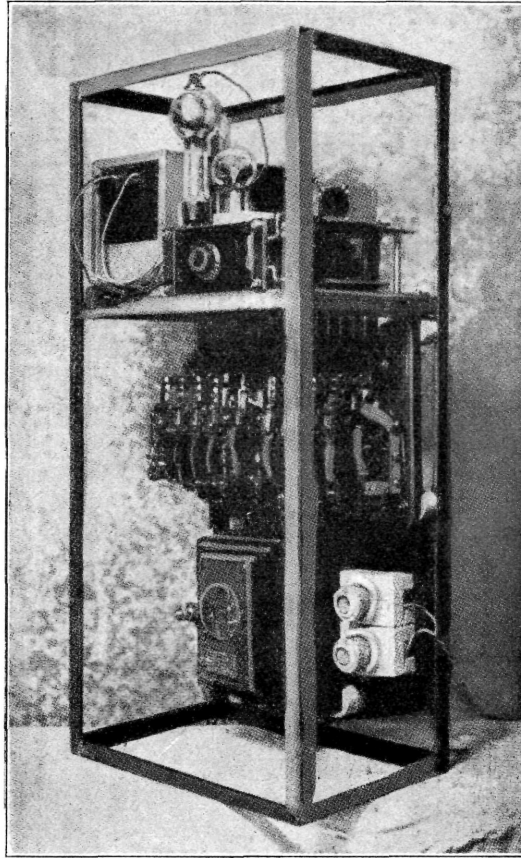



Fig. 172.

spegnimento quando la luce ha raggiunto un certo valore limite stabilito.

Le figg. 172 e 173 mostrano appunto uno di questi interruttori automatici completi. La fig. 174 mostra lo schema proposto dal Grasser per questo apparecchio.

Ma l'applicazione che più attira l'attenzione del dilettante

è quella riguardante la televisione, applicazione che rientra anch'essa nella categoria *a*).

Vediamo anzitutto come si possano, mediante una cellula fotoelettrica, generare dei suoni. La fig. 175 mostra un disco

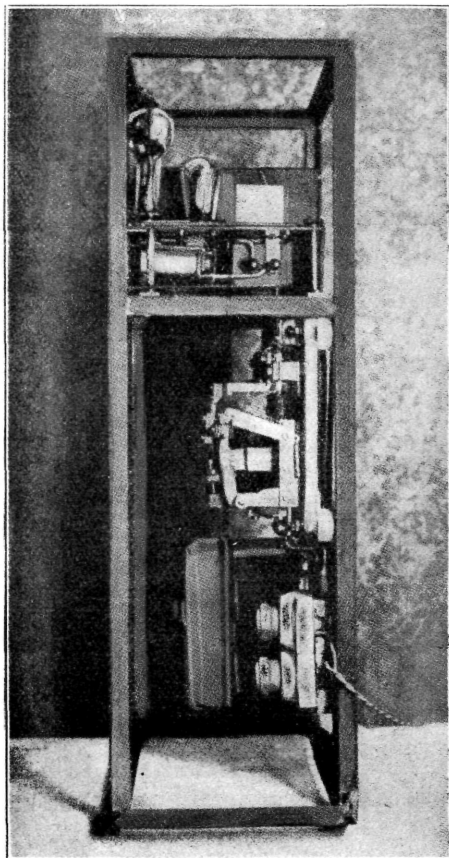



Fig. 173.

forato attraverso i fori del quale la luce di una lampada elet trica va a colpire la cellula fotoelettrica.

Il raggio di luce di questa lampada viene periodicamente interrotto quando il disco gira intorno al suo asse e questa interruzione è più o meno rapida secondo che il disco gira più o meno rapidamente. Se i fori del disco sono 50 per es. e il

disco compie un giro al secondo, il raggio di luce viene interrotto 50 volte al secondo ed allora la cellula produce variazioni di corrente per 50 volte al secondo e quindi in un altoparlante

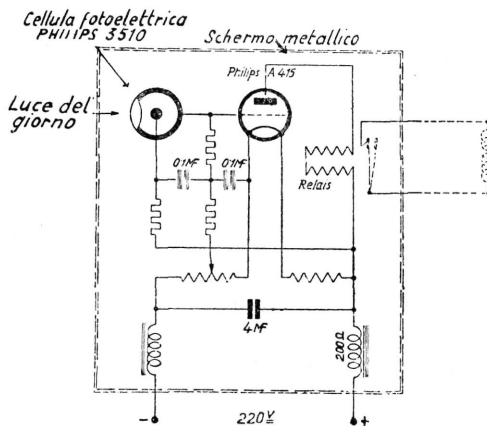



Fig. 174.

inserito nel circuito della cellula si produrrà un suono corrispondente a questa frequenza, quindi un suono basso. Ruotando il disco più velocemente, per es. con due giri al secondo, l'interruzione viene raddoppiata e così anche l'altezza del suono nell'altoparlante. Ruotando il disco più lentamente il suono nell'altoparlante diventa sempre più basso fino a giungere al

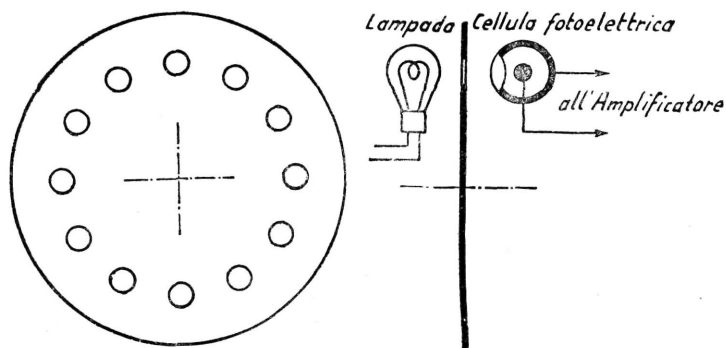



Fig. 175.

limite dell'udibilità. Lo schema di un apparecchio simile che si potrebbe chiamare generatore di toni è rappresentato completamente nella fig. 176.

La corrente della cellula fotoelettrica viene amplificata da una valvola e poi da un normale amplificatore di bassa frequenza che fa capo a un altoparlante.

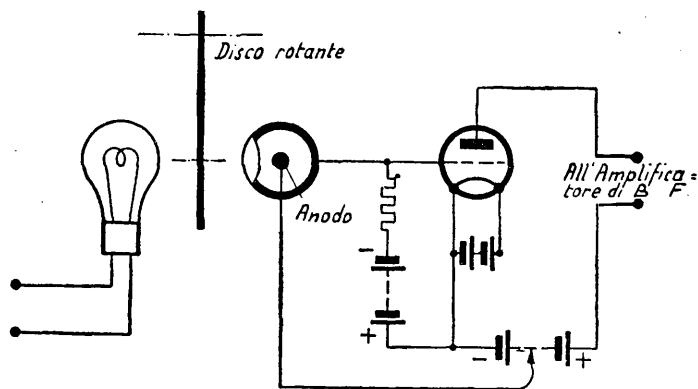



Fig. 176.

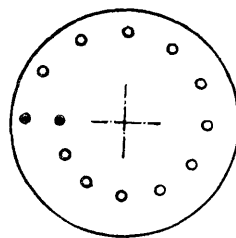
Il disco rotante può essere centrato per es. sull'asse di un ventilatore e le variazioni di velocità si possono ottenere agendo mediante una leva su un freno a frizione sul disco.

La lampada deve venire completamente racchiusa in uno schermo metallico lasciando solo una finestra libera in corrispondenza dei fori del disco. Anche la cellula è bene sia completamente schermata con libera la sola apertura rivolta verso i fori del disco. In questo modo si evita che nella cellula vadano raggi di luce diversi da quelli che vi deve proiettare la lampada.

Questa disposizione fondamentale è in fondo quella che si adopera oggi nei sistemi per la trasmissione di poche immagini come nella televisione e nel telecinema. La differenza consiste nel fatto che nella televisione il disco rotante non ha i fori disposti su una circonferenza di raggio determinato, ma li ha disposti su una curva a spirale di una sola spira (figura 177).

Fig. 177.

Il disco rotante in tal caso prende il nome di disco di Nipkow.

Con questa disposizione si ottiene che l'immagine che arriva attraverso un intaglio rettangolare sul disco e quindi sulla cellula che viene dietro, può venire scomposta durante un giro del disco stesso in tutti i suoi

punti, cioè ad ogni foro del disco corrisponde un punto dell'immagine.

La larghezza dell'immagine deve essere eguale alla distanza dei punti segnati in nero nella fig 177.

Quando la velocità di rotazione del disco è abbastanza grande, per la persistenza delle immagini sulla retina, un osservatore non vedrà più i successivi punti dell'immagine ma l'immagine completa.

Per questa ragione le cellule fotoelettriche hanno un'importanza capitale in tutti i problemi che si riferiscono alla televisione.

Illustriamo ora qualche applicazione della categoria *b*).

Consideriamo per es. una cellula fotoelettrica colpita continuamente da un raggio di luce e quindi capace di produrre una corrente elettrica la quale a mezzo dell'ormai noto « relais » può per es. bloccare una suoneria elettrica. Quando noi interrompiamo questo raggio di luce la corrente elettrica della cellula viene a cessare e la suoneria, non più bloccata, prende a suonare. Ecco un sistema ingegnoso ed ultra moderno per avere un segnale d'allarme e quindi proteggere casseforti, cassette di sicurezza, recinti di prigionieri, ecc., ecc.

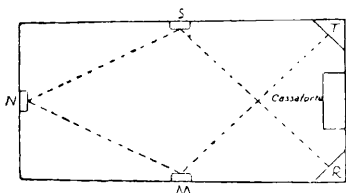



Fig. 178.

La fig 178 mostra come si può proteggere una cassaforte.

In *T* si trova una lampada che trasmette un raggio di luce il quale dagli specchi *M*, *N* ed *S* viene riflesso nell'apparecchio *R* che contiene la cellula fotoelettrica.

Quando una persona avvicinandosi alla cassaforte interrompe questo raggio di luce, cessa la corrente della cellula ed il segnale d'allarme, che può essere posto presso il custode, agisce.

È ovvio aggiungere che la corrente della cellula è dell'ordine di qualche milionesimo di A e quindi non potrebbe direttamente agire su alcun « relais ». La valvola termoionica permette di costituire un amplificatore adatto per portare la corrente fotoelettrica al valore sufficiente per gli usi pratici. Le figg. 179, 180 e 181 mostrano dispositivi analoghi per la protezione delle cassette di sicurezza di una banca (fig. 179), del

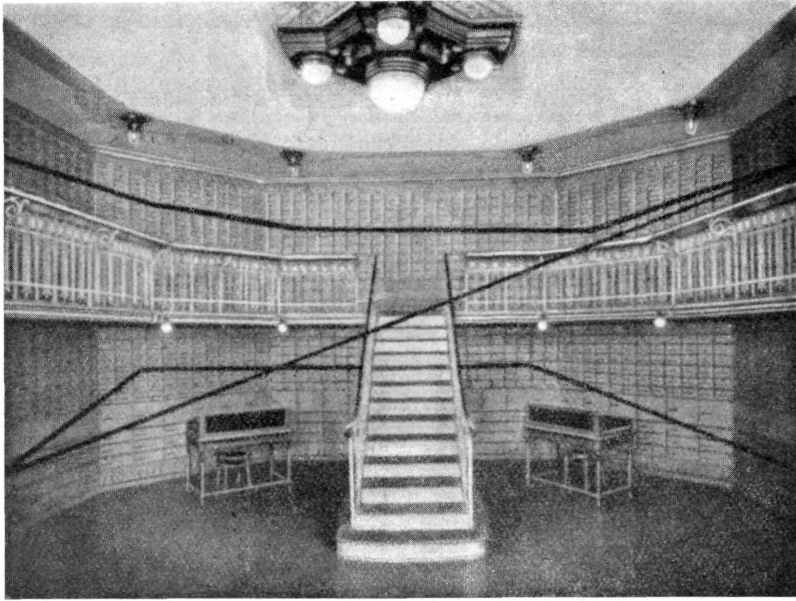



Fig. 179.

recinto di una polveriera (fig. 180), e di un corridoio (fig. 181). Il raggio luminoso può venire riflesso in molti casi dalle stesse

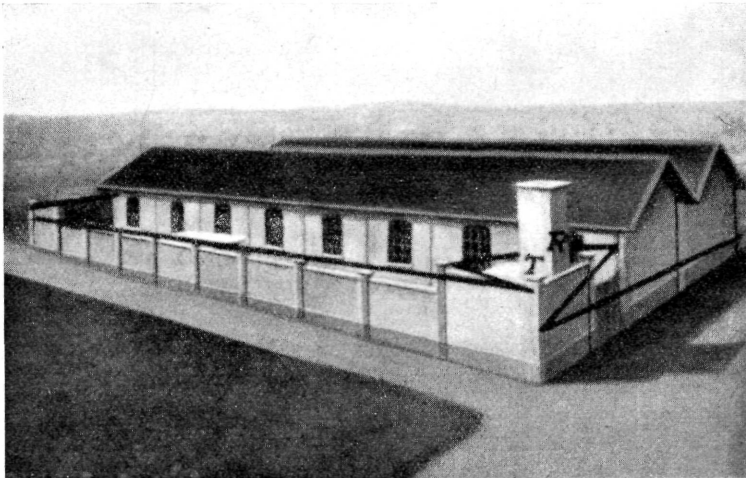



Fig. 180.

decorazioni metalliche dei mobili o da specchietti nascosti negli angoli della stanza.

La fig. 182 mostra come si può comandare automaticamente lo scatto di una macchina fotografica per segnalare il passaggio al traguardo dei cavalli su un campo di corse.

Appena un ostacolo (cavallo in corsa, corridore, ecc.) interrompe i raggi luminosi trasmessi da una lampada attraverso

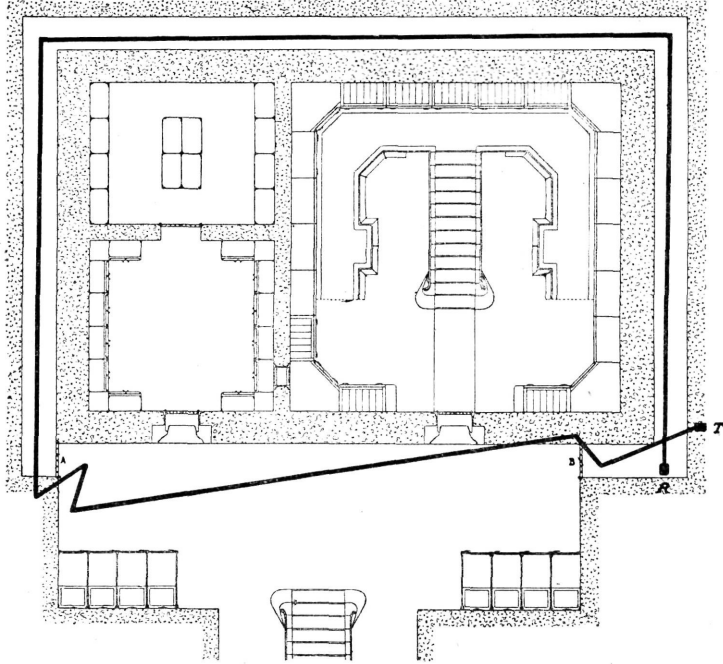



Fig. 181.

il campo e rimandati da specchi disposti all'altra estremità su una cellula fotoelettrica, ossia appena il vincitore taglia il traguardo, viene a cessare la corrente nell'amplificatore della cellula e si viene a chiudere il contatto *ab* riportato nella fig. 183, con conseguente funzionamento dello scatto automatico della macchina fotografica *A*.

Può essere previsto anche un apposito apparecchio di registrazione ad ogni passaggio di corridore. Poichè un sistema simile deve funzionare in pieno giorno la cellula fotoelettrica

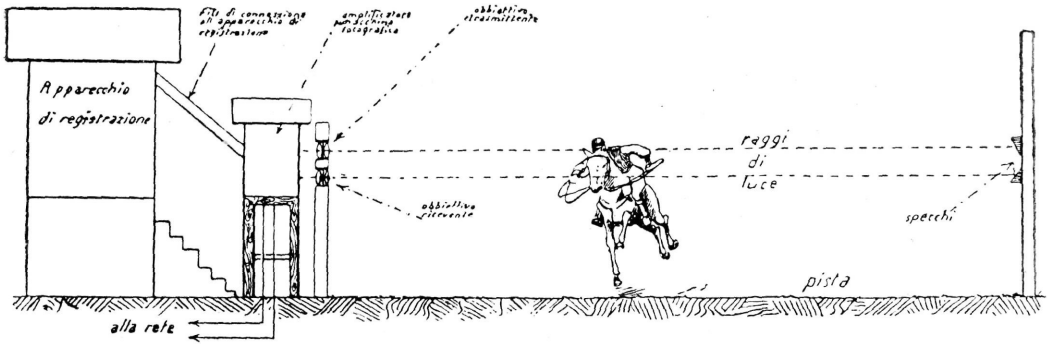



Fig. 182.

potrebbe venire influenzata dai raggi di luce esterna oltre che da quello della lampada trasmittente, perciò è preferi-

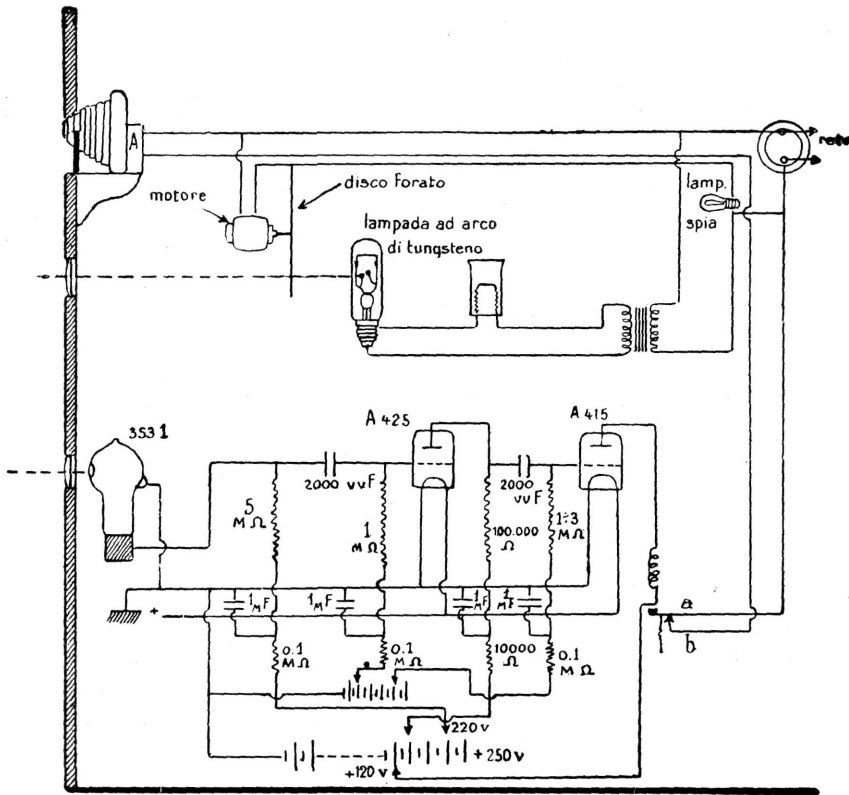



Fig. 183.

bile modulare questo raggio trasmittente a frequenza musicale.

Nella parte superiore della fig. 183 è perciò riportato un disco forato il quale interrompe il raggio di luce della lampada ad arco di tungsteno disposta nel fuoco di un obbiettivo a grande distanza focale. Il fascio di luce che esce da questo obbiettivo è perciò sensibilmente orizzontale, attraversa la pista, è rimandato dagli specchi disposti all'altra estremità e ritorna attraverso l'obbiettivo ricevente a colpire la cellula disposta nel fuoco di quest'ultimo; la luce trasmittente così modulata a frequenza musicale si differenzia dalla luce continua che può provenire dall'esterno.

Quando vi è un'illuminazione parassita troppo intensa, come per es. per funzionamento in pieno sole, con questo sistema si può attraversare una pista abbastanza larga anche di diverse centinaia di metri.

Tra le applicazioni della categoria *c*) accenneremo all'uso della cellula fotoelettrica come fotometro cioè nella misura dell'intensità luminosa comparando l'eguaglianza di due flussi luminosi.

Questo paragone fatto normalmente dall'occhio umano va soggetto a tutte le imperfezioni dell'occhio e diventa inoltre un apprezzamento del tutto personale. Sostituendo all'occhio la cellula, il paragone si può fare con grande precisione.

Per fare il paragone tra una lampada di cui si vuole misurare l'intensità luminosa e una lampada campione, basta disporre la cellula, nelle stesse condizioni, dinanzi all'una e all'altra lampada e misurare le correnti fotoelettriche amplificate.

Lo schema di fig. 184 è quello utilizzato nell'Electrical Testing Laboratory di New-York.

Con un tale metodo non si commette un errore superiore all'1% ed anche è possibile ottenere misure con approssimazione del 0,5% per lampade comprese tra pochi watt e 1000 watt.

Lo specchio rotante *MM'* invia successivamente sulla cellula fotoelettrica la luce proveniente dalla lampada campione o dalla lampada di cui si vuole misurare l'intensità. La corrente della cellula viene amplificata da una valvola termoionica e attraverso il trasformatore *PS* e l'interruttore *C* rotante solidalmente con lo specchio *MM'* va a influenzare il galvanometro

G. Se i due flussi sono eguali il galvanometro segnerà zero.

Tra le applicazioni della categoria *d*) vanno annoverate le ricerche sui liquidi. Così per es. il grado di densità del latte si può osservare con la cellula fotoelettrica mediante l'aggiunta di un opportuno reagente poichè la cellula presenta una diversa sensibilità per i diversi colori.

Allo stesso modo è possibile la prova di densità degli olii osservandoli in trasparenza con l'ausilio di una cellula fotoelettrica.

Altre misure possibili con la cellula sono quelle del con-

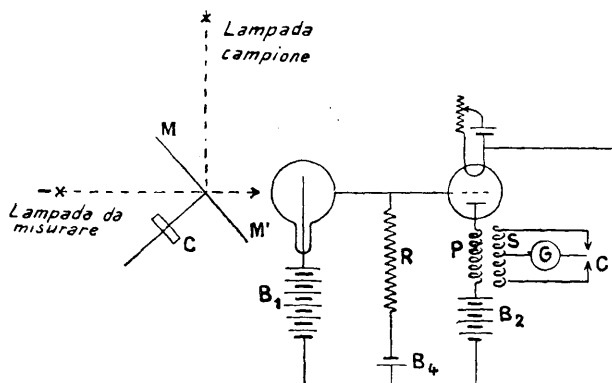



Fig. 184.

trollo della temperatura degli acciai fluidi. E noto come il controllo di queste temperature si faccia con l'osservazione del colore del metallo in fusione paragonandolo con dei vetri normali.

Questo avviene nei noti pirometri nei quali si paragonano dei vetri diversamente colorati e già tarati con gli acciai ad alta temperatura.

Indicatissimo è pertanto l'uso della cellula fotoelettrica nelle fonderie, nelle acciaierie, ecc.

La cellula fotoelettrica permette di distinguere dei colori estremamente vicini e quindi essa trova un utile impiego nelle fabbriche di tessuti e nelle fabbriche di carta dove il colore del prodotto ha notevole importanza.

Ricordiamo che quando si dice che un corpo ha un certo colore, si vuole intendere che mentre questo corpo è illuminato

con luce bianca (somma di tutti i colori) esso ne rimanda all'occhio dell'osservatore soltanto una parte e precisamente quella che corrisponde al « colore » del corpo stesso. Un oggetto si dice quindi « bianco » quando tutte le radiazioni della luce incidente che lo illuminano sono diffuse o riflesse senza alcuna perdita. L'oggetto apparirà « grigio neutro » quando la dispersione è identica per tutte le radiazioni. Esso sarà nero quando tutta la luce incidente verrà assorbita, mentre apparirà per es. rosso quando verrà riflessa o diffusa soltanto la radiazione relativa a tale colore dello spettro.

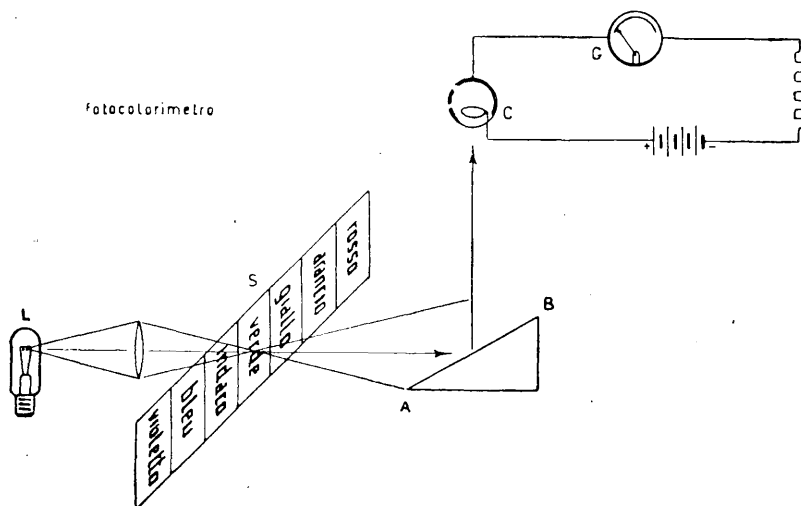



Fig. 185.

Ora nell'industria dei tessuti si cerca di creare sempre delle nuove sfumature di colori per adattarli alla moda; è allora necessario analizzare rapidamente il colore di un campione o comparare i colori di due campioni. Per tale misura l'occhio non è certo il più indicato ed in ogni caso il suo apprezzamento varia da persona a persona. Rende invece un utilissimo servigio la cellula fotoelettrica: si fa cadere la luce di una lampada elettrica obliquamente sulla superficie del campione (di stoffa o di carta) e si fa attraversare la luce riflessa attraverso un filtro colorato (questi filtri possono essere costituiti da tanti vetri trasparenti colorati nei colori dello spettro, violetto, bleu giallo, arancio, rosso) (fig. 185). Questa luce che

ha attraversato lo schermo colorato va a colpire una cellula fotoelettrica la quale produce così una corrente elettrica che è funzione della qualità e della quantità di questa luce.

Due campioni identici daranno quindi nella cellula lo stesso effetto e quindi la stessa corrente facilmente misurabile.

Un apparecchio così costruito prende il nome di fotocolorimetro ed è già praticamente applicato in diverse fabbriche di tessuti e di carta.

La fig. 185 mostra lo schema di funzionamento: la luce emessa da una lampada elettrica *L* viene condotta obliquamente sulla superficie *a b* del campione da esaminare.

Si interpongono successivamente i diversi filtri colorati e la luce rinviata verso l'alto dalla superficic dell'oggetto in esame, va a colpire lo cellula fotoelettrica la cui corrente fotoelettrica è misurata dal galvanometro *G*.

Per fare l'analisi di un campione lo si compara ad un campione scelto come tipo del relativo colore (come tipo di bianco si considera una piccola placchetta di magnesia, ecc.).

Per molte analisi chimiche ha grande importanza la dederminazione dell'inizio di reazioni producenti cambiamenti di colore o precipitati. Tale determinazione per poter essere fatta a occhio richiede una pratica considerevole ed alcune volte è assai incerta. Facendo uso invece di una cellula fotoelettrica, illuminata da un raggio passante attraverso la soluzione, l'inizio della reazione può essere segnalato colla maggiore esattezza ed indicato dallo squillar di una suoneria oppure registrato da una punta scrivente.

Tra le applicazioni varie cui si prestano le cellule fotoelettriche ne riportiamo due di particolare interesse.

In diverse esposizioni europee la Philips ha attirato l'attenzione dei curiosi col suo « cane radioelettrico » col quale ha permesso di rendersi perfettamente conto del funzionamento delle cellule fotoelettriche.

Molti tuttavia si saranno domandati come possono ben funzionare gli « organi » di questo animale così ingegnosamente costruito. È per costoro che noi sottomettiamo il cane a un esame anatomico.

La figura 186 ci mostra il cane privato della sua pelle. Gli occhi, chiusi da due cellule, appaiono, chiaramente Si possono poi distinguere le valvole amplificatrici, i relais, un accu-

mulatore, delle batterie e diversi apparecchi elettrici di cui vedremo più avanti il funzionamento.

Nella resistenza *RI* (figura 187) ha luogo una caduta di tensione dipendente dall'intensità della corrente proveniente dalla cellula. Poichè *RI* fa parte del circuito di griglia della valvola amplificatrice seguente, questa caduta di tensione

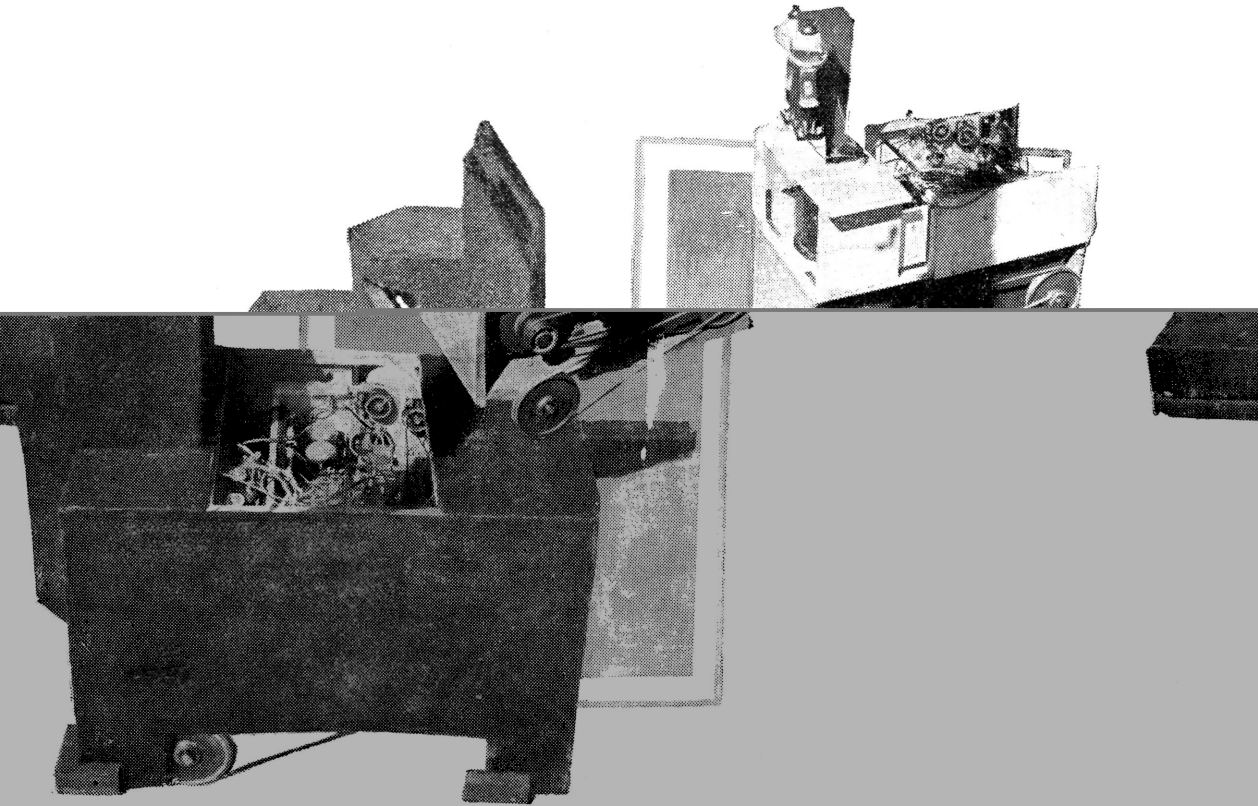



Fig. 186.

è nello stesso tempo la tensione di comando della valvola amplificatrice così che la corrente anodica della valvola varia nella stessa misura della corrente che attraversa la cellula.

La figura 188 mostra lo stadio seguente. Per semplificare la dimostrazione supponiamo che il relais *I* sia direttamente connesso al polo positivo della sorgente di tensione anodica.

Un relais è, come sappiamo, l'apparecchio che rende pos-

sibile, con una potenza minima, la chiusura di un circuito per una più grande potenza. Esso si compone di un'elettrocalamita e di un'armatura mobile che è attirata stabilendo o sopprimendo così un contatto quando l'elettrocalamita è eccitata da una corrente elettrica.

Fig. 187.

Nel cane-radio quando si illumina la cellula, passerà attraverso il relais *I* la corrente anodica della valvola amplificatrice che fa in modo che l'armatura *AI* venga attratta contro il contatto *C* influenzando a sua volta il relais *IV*, ciò che ha per risultato che l'armatura *A IV* è sollevata contro il contatto *D* mettendo così il motore *MI* in circuito.

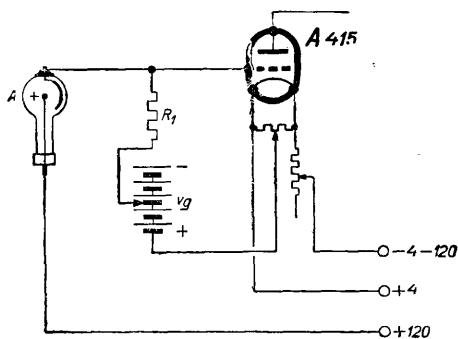
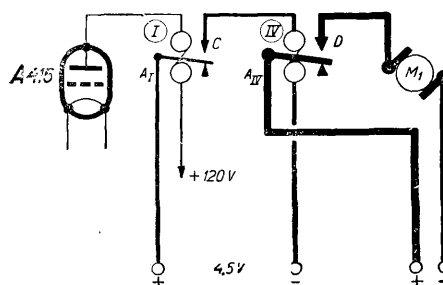
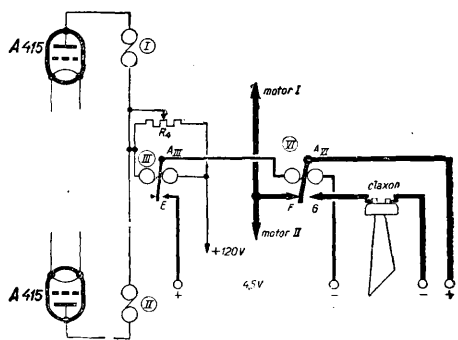



Fig. 188.

L'altro occhio può azionare esattamente nello stesso modo il secondo motore; avverrà che i due motori si metteranno in movimento e che l'animale andrà diritto se si rischiarano simultaneamente i due occhi. I due motori sono del tutto indipendenti uno dall'altro così che rischiarandosi una cellula, uno solo dei motori funzionerà e il quadrupede si metterà a girare.

Fig. 189.

Il cane-radio può anche abbaiare. La fig 189 mostra il montaggio che rende possibile ciò. La corrente anodica delle due valvole amplificatrici attraversa il relais *III* montato in

serie col dispositivo di alimentazione dell'anodo delle due valvole amplificatrici. La resistenza regolabile *R* 4 è montata in parallelo sull'avvolgimento per poterne regolare la sensibilità. Questa resistenza è disposta in modo tale che il relais non funziona che quando le due valvole dànno la loro corrente di saturazione, ciò che si produce quando le due cellule sono fortemente illuminate.

L'armatura *A III* è allora attirata eccitando così il relais

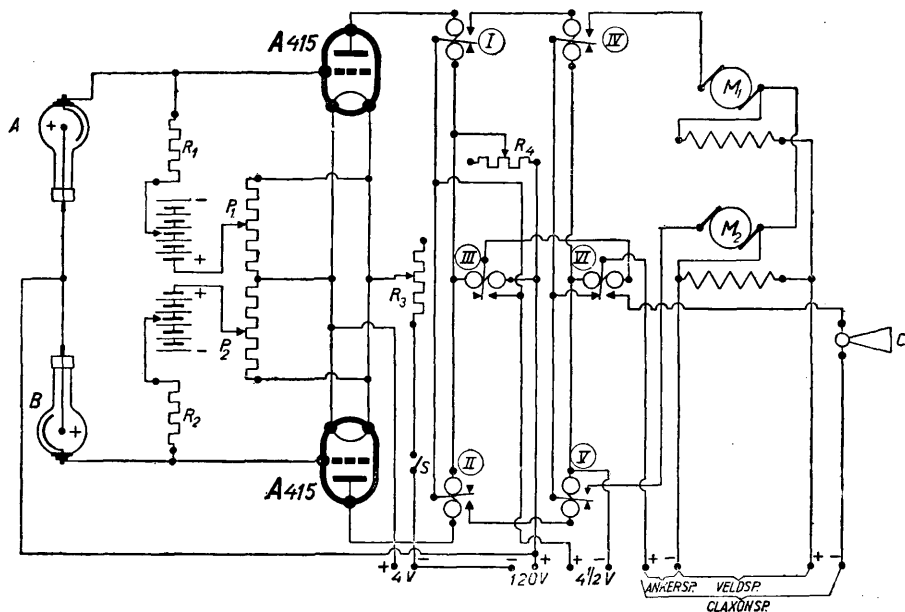



Fig. 190.

VI. L'armatura *A VI* essendo sollevata interrompe l'alimentazione dei due motori a mezzo del contatto *F* e il cane resta immobile; quando l'armatura *A VI* è in contatto con *G* il claxon si mette in azione.

Nel circuito del claxon si è disposto inoltre un interruttore che fa in modo che il cane non abbai continuamente ma soltanto ad intervalli. La figura 190 rappresenta lo schema di tutto il meccanismo di questo bizzarro animale.

Un'altra applicazione tanto interessante quanto utile è quella della *luce cantante* dovuta alla stessa fabbrica olandese.

La figura 191 mostra l'installazione completa ricevente

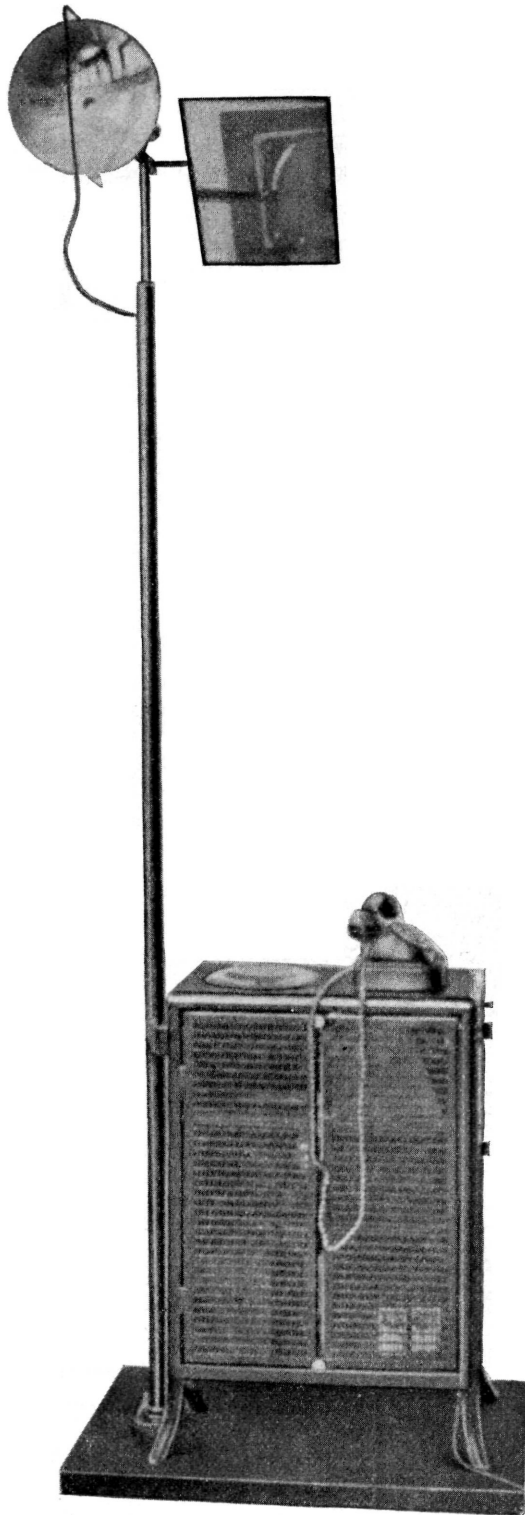



Fig. 191.

e trasmittente per telefonare a mezzo della luce. Lo specchio di sinistra è quello che serve per la trasmissione, quello di destra invece per la ricezione del raggio luminoso.

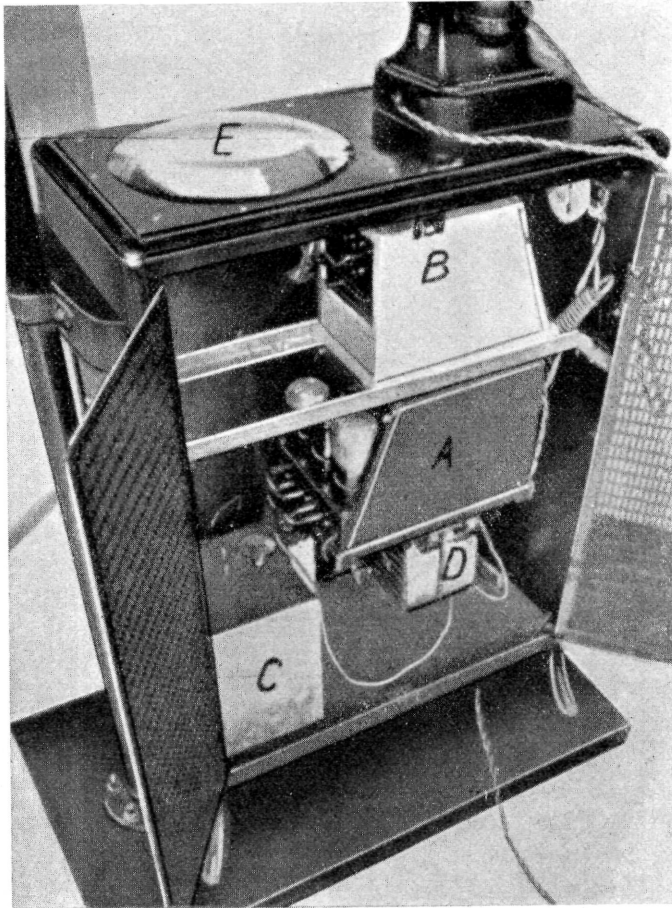



Fig. 192.

Il principio di funzionamento è il seguente: si sovrappone la debole corrente modulata proveniente da un microfono o da un pick-up alla piccola corrente di alimentazione di una lampada tascabile da 4 *V*, così che l'intensità luminosa di questa lampada viene ad essere modificata.

La luce concentrata nel posto trasmittente da uno specchio parabolico va a colpire lo specchio piatto del posto ricevente ed è allora rinviata verso il basso ad angolo retto su un condensatore ottico; da questo condensatore il fascio luminoso viene inviato su una cellula fotoelettrica che trasforma le variazioni d'intensità luminosa in deboli correnti elettriche. Sono queste correnti che vengono riprodotte dal ricevitore telefonico o, dopo essere amplificate, da un altoparlante. Poichè i due posti sono muniti tanto di un dispositivo trasmittente che di un dispositivo ricevente, si può in questa maniera scambiare una conversazione con degli apparecchi telefonici normali.

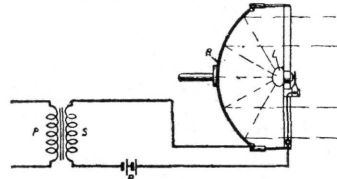



Fig. 193.

Il meccanismo del selettore dei due telefoni è connesso in maniera tale che si possa suonare dai due posti girando i dischi.

La fig. 192 mostra l'interno dell'apparecchio ricevente-trasmittente:

A è un amplificatore fonografico, *B* un alimentatore di placca, *C* l'amplificatore della cellula, *D* un accumulatore

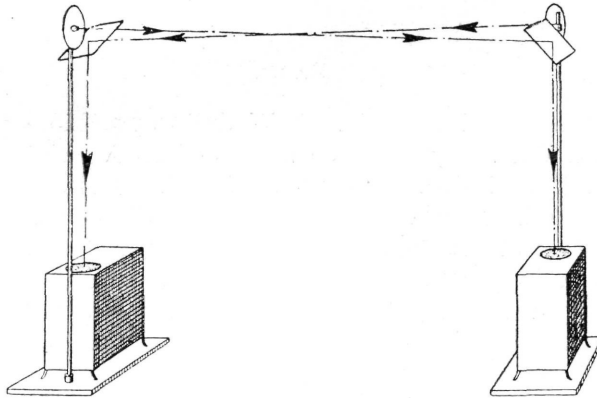



Fig. 194.

da 4 V, *E* il condensatore ottico di raccolta del fascio luminoso, *F* una lente di correzione.

La figura 193 mostra lo schema elettrico della lampada che trasmette il fascio luminoso.

La figura 194 mostra l'insieme dell'installazione con l'andamento dei raggi luminosi trasmessi e ricevuti.

La figura 195 indica come viene effettuata la trasmissione: M è il microfono trasmittente mentre T è il telefono ricevente, A_1 è l'amplificatore microfonico, R_1 lo specchio parabolico trasmittente, R_2 lo specchio piano ricevente, C la cellula fotoelettrica, A_2 l'amplificatore delle correnti fotoelettriche. Da questa illustrazione appare chiarissimo il funzionamento: la luce della lampadina L viene modulata da correnti microfoniche trasmesse attraverso il microfono M e l'amplificatore A_1.

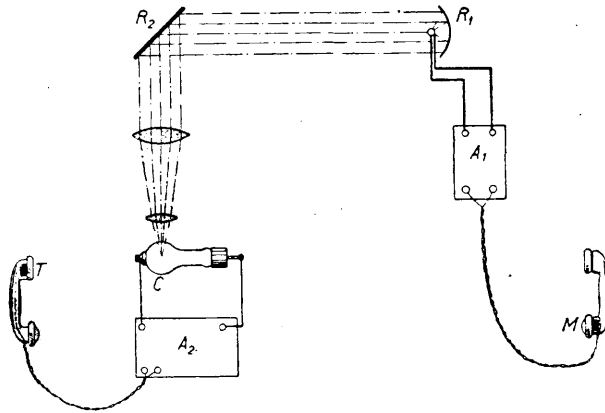



Fig. 195.

Questi raggi luminosi raccolti dallo specchio R_2 vengono condensati dal sistema ottico sulla cellula fotoelettrica C da dove amplificati da A_2 vanno a riprodurre nella membrana del telefono T oscillazioni analoghe a quelle che avevano impressionato la membrana del microfono M.

Oltre alla parola si può, a mezzo di un pick-up, trasmettere della musica registrata sui dischi. È quasi impossibile distinguere la musica emessa dai raggi luminosi dalla migliore musica elettrica.

Si controlla subito che la musica è trasmessa dalla luce perchè intercettando i raggi luminosi la musica si arresta immediatamente.

Questa esperienza dà dei risultati eccellenti e ci fa pensare a tutte le applicazioni che potrebbe avere in pratica questo principio.

PARTE TERZA.

LA LAMPADA A LUMINESCENZA CATODICA

CAPITOLO I.

La lampada al neon

Abbiamo già visto che questa lampada, nota anche sotto il nome di lampada al néon o « veilleuse » o « glimm » utilizza il fenomeno della luminescenza.

Essa si presenta con gli elettrodi sotto forma diversa a seconda degli scopi cui è destinata: questi hanno la forma di due spirali incastrate nella lampada da notte o « veilleuse » o di una croce nelle lampade votive ecc.

Nella lampada per televisione gli elettrodi hanno l'uno la forma di una placca rettangolare di dimensioni 4×5 cm. circa e l'altro è un rettangolo unifilare disposto a breve distanza.

Inserita questa lampada sulla corrente alternata, i due elettrodi si ricoprono di una luce rossa; sulla corrente continua si ricopre di luce il solo catodo. La luce di una tale lampada è dunque la luce della regione luminescente negativa del neon il cui spettro è discontinuo, costituito di righe. In questo spettro dominano le righe rosse e gialle del néon (si trova qualche riga nel bleu e nel verde, ma appartenenti all'elio e la cui intensità non ha influenza sulla tinta della luce. La presenza di queste tracce di elio è dovuta al fatto che il neon ottenuto dall'aria atmosferica non è mai perfettamente puro).

Nella lampada per televisione la placca deve essere sempre l'elettrodo negativo (catodo) poichè è sulla sua superficie che deve formarsi la luminescenza.

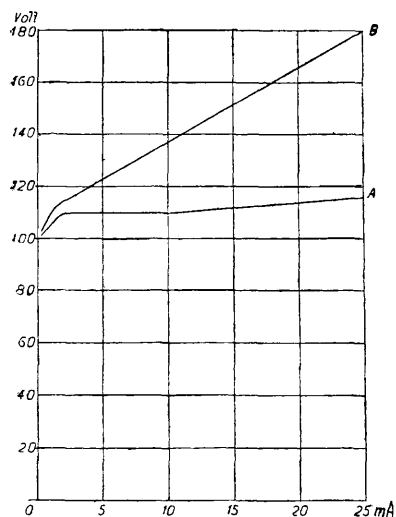
Il rettangolo unifilare è l'elettrodo positivo (anodo).

La lampada a luminescenza catodica è dunque riempita di neon alla pressione di 1 a 2 cm. Nel suo zoccolo si trova una resistenza, necessaria per il buon funzionamento.

Le proprietà caratteristiche di questa lampada sono evidentemente diverse da quelle di una lampada ad incandescenza.

Se si diminuisce l'intensità di corrente che attraversa il filamento di una lampada ad incandescenza, questo diventerà sempre più rosso oscuro e l'intensità luminosa diminuirà rapidamente; continuando a diminuire la corrente arriva un momento in cui il filamento acquista una temperatura inferiore a quella che dà un irradiamento visibile. Nella lampada a luminescenza catodica il fenomeno è ben diverso.

Fig. 196.

Se si diminuisce l'intensità della corrente di questa lampada, la produzione di luce persiste, essa diventa più piccola solo per il fatto che con una corrente più debole una parte più piccola degli elettrodi si copre di luminescenza. Più si diminuisce l'intensità e più piccola diventa la parte di elettrodo coperta di chiarore, ma fino a quando la corrente esiste la lampada resterà luminescente.

La figura 196 dà le caratteristiche di questa lampada a luminescenza catodica cioè l'andamento della tensione in funzione della intensità per una lampada per corrente continua. La curva inferiore *A* dà le caratteristiche della lampada senza la resistenza di cui abbiamo parlato precedentemente. Questa linea è per un certo tratto quasi orizzontale; per delle intensità più grandi cresce un po'. Essa è dunque una caratteristica molto debolmente positiva. Ne risulta che una lampada simile non può più essere direttamente connessa alla rete, perchè un piccolo aumento della tensione porterebbe un troppo grande aumento della intensità che sovraccaricherebbe la lampada e potrebbe anche distruggerla.

Se al contrario determiniamo le caratteristiche della lampada nel caso in cui la resistenza è inserita nel circuito, otteniamo la curva *B*. Si vede dunque che lo scopo di questa resistenza «*shunt*» è quella di dare alla caratteristica una forma positiva che rende possibile l'applicazione della lampada con la corrente delle reti ordinarie.

Ancora due punti occorre chiarire parlando delle lampada a luminescenza catodica, e cioè:

1) Da quali fattori è influenzata la scelta del gas che riempie la lampada?

2) Quale è l'influenza del materiale degli elettrodi?

Scelta del gas.

Il gas deve essere scelto tenendo presenti le seguenti considerazioni: *a*) che si possa produrre e mantenere la scarica della lampada con tensioni non superiori a quelle della corrente delle reti normali; *b*) che le righe del gas nello spettro siano in maggioranza nella parte buona dello spettro visibile. Se si riempie per esempio l'ampolla di questa lampada a luminescenza catodica di aria, o di ossigeno, o di idrogeno, o ancora di altri gas, a 220 volt non si avrà alcuna traccia di scarica ed occorrerà una tensione di molto superiore per far funzionare la lampada stessa. Occorre dunque usare un gas che dia una scarica con tensione la più piccola possibile. E siccome la scarica in un gas dipende dalla «jonizzazione» di esso, cioè dalla decomposizione di ogni suo atomo in un elettrone ed un ione positivo, si può anche dire che occorre scegliere un gas per il quale la ionizzazione si produce con un voltaggio il più piccolo possibile.

Abbiamo già visto nella prima parte di questo volume che il potenziale di ionizzazione del nèon è di 22 volt, quello dell'elio di 25 volt, quello dell'argon di 16 volt ecc.

Se nella categoria dei gas monoatomici, per la lampada a luminescenza si è scelto il Néon a preferenza dell'Argon, che si ottiene più facilmente, ciò è dovuto al fatto che avendo per scopo l'emissione di luce, le righe spettrali del Néon si trovano in maggioranza nella parte buona dello spettro, mentre non vi si trovano quelle dell'Argon che perciò ha un rendimento luminoso più debole. Tuttavia nella fabbricazione di

certe lampade per es. delle valvole raddrizzatrici, si introduce anche l'argon. Si trova per esempio che agiungendo una debole percentuale di Argon al riempimento di Néon, la lampada funziona su una tensione molto più bassa che con Néon solamente.

Ciò è dovuto probabilmente al valore più debole del potenziale di ionizzazione dell'Argon.

Materiale degli elettrodi.

Non solamente con una giusta scelta del gas dell'ampolla, ma anche con una giudiziosa scelta del materiale degli elettrodi, particolarmente del catodo, si riesce a fare produrre la scarica nel tubo con tensioni relativamente deboli. Si trova per esempio che se gli elettrodi sono costituiti interamente o parzialmente di magnesio, la lampada può funzionare con tensiosione assai più debole di quando gli elettrodi sono in ferro. Per comprendere l'importanza del materiale degli elettrodi, dobbiamo ricordarci ciò che succede in una lampada a luminescenza durante la scarica.

Gli elettroni e gli ioni positivi che si trovano in un gas ionizzato, si muovono sotto l'influenza della tensione applicata in direzioni opposte: gli elettroni si dirigono verso l'anodo mentre gli ioni positivi si trasportano sul catodo che è negativo e qui essi vengono neutralizzati. Ma prima che questa neutralizzazione avvenga, gli ioni positivi possono colle loro collisioni contro il catodo estrarre degli elettroni a questo elettrodo, i quali a loro volta si dirigono verso l'anodo e potranno, nel loro percorso, dar luogo ad altri ioni positivi.

Questo fenomeno, che mantiene la scarica, ha anche importanza nella produzione di essa. Si comprende così come nella produzione della scarica il materiale del catodo abbia la sua importanza poichè gli ioni positivi rendono liberi degli elettroni del catodo e ciò avverrà tanto più, quanto più facilmente il catodo abbandonerà i suoi elettroni o, per esprimerci più esattamente, quanto più piccola è l'energia necessaria per asportare un elettrone al catodo. Questi fenomeni sono stati studiati profondamente dal Richardson ed oggi si conosce per molti metalli l'energia che deve possedere un elettrone perchè esso possa sfuggire dal metallo stesso, energia

che a pag. 17 abbiamo chiamato *affinità elettronica* la quale varia da 4,52 per il tungsteno a 2,7 per il magnesio.

È per questa ragione che, quando la lampada a luminescenza ha lo scopo di produzione di luce con tensione relativamente bassa, si dispongono alle estremità degli elettrodi delle piccole placche di magnesio.

Nella lampada per televisione gli elettrodi sono di nichel generalmente ed il catodo è ricoperto di uno strato isolante sulla superficie posteriore in modo da limitare la formazione della luminescenza su una faccia sola della placca.

Questa placca deve essere sempre interamente ricoperta di luce e ciò è possibile con una corrente di almeno 4 mAmp.

La corrente normale deve essere di circa 20 mAmp in modo che l'ampiezza massima delle oscillazioni di corrente risulti di 20 — 4 = 16 mAmp. Durante il funzionamento l'intensità della corrente che attraversa la lampada varia perciò da 4 a 36 mAmp.

La lampada per televisione.

La lampada al Néon, come relais in televisione è in forte concorrenza con la cellula di Kerr la quale dal punto di vista dell'inerzia e della luminosità si può considerare come un relais quasi ideale; essa ha però bisogno di un'ottica complicata mentre l'ottica semplicissima necessaria per la lampada al Néon costituisce il principale vantaggio di questa. Un altro vantaggio della lampada al Néon è la bassa tensione alternata necessaria per farla funzionare. Gli svantaggi che presenta la lampada al Néon sono, oltre che alla ridotta luminosità, che per altro ha poca importanza almeno nei televisori per famiglie, sono dovuti al fatto che essa non può essere considerata come un relais assolutamente privo d'inerzia. Nelle ricerche fatte finora è stato infatti dimostrato che la lampada al Néon può seguire facilmente oscillazioni della corrente alternata straordinariamente rapide, fino alla frequenza di 10.000 cicli (quindi praticamente soddisfacente per le variazioni luminose negli attuali televisori), ma alcune esperienze hanno dimostrato che la lampada non funziona così bene per frequenze più elevate e ciò per diverse cause e principalmente per l'apparizione dell'« isteresi » dovuta alla scarica luminescente.

Se alla corrente continua che attraversa una lampada al Néon si sovrappone una corrente alternata e si conducono alle placche devianti di un tubo di Braun da una parte la tensione del tratto di luminescenza e dall'altra una tensione proporzionale alla corrente nel tratto di luminescenza, allora il punto luminoso descrive sopra lo schermo fluorescente una curva che è la *caratteristica dinamica* della lampada al Néon.

Si ricava da questa caratteristica che non esiste più una relazione semplice tra la corrente e la tensione nel tratto della scarica luminescente come ci dice la *caratteristica statica*, ma la tensione che ha una determinata corrente nel tratto della scarica luminescente dipende soltanto dalla corrente che è passata prima. Cioè questa tensione è più piccola se prima è passata una corrente più grande è viceversa. Questo sfasamento tra la tensione alternata applicata e la corrente continua prodotta (dovuta a fenomeni che avvengono nel tratto della scarica, come sviluppo di calore, ionizzazione, ecc.) è indice che la scarica luminescente conserva un'inerzia che la rende inadatta alla trasformazione di oscillazioni di tensione troppo rapide in corrispondenti oscillazioni di luce.

D'altra parte lo sviluppo della televisione è basato proprio sull'aumento della frequenza luminosa cioè sull'aumento delle variazioni d'intensità luminosa da parte del relais usato.

Se si prende come misura per le oscillazioni di luce derivanti, la grandezza delle oscillazioni di corrente che le producono, si può studiare il comportamento della lampada al Néon osservando la sua resistenza per corrente alternata. Questa resistenza di corrente alternata è, riferendoci alla caratteristica statica della figura 197 [1] data da:

$$R_{alt} = \frac{d\,e}{d\,i} = \text{tang. } \alpha$$

ed è bene distinguere questa dalla resistenza per corrente continua:

$$R_{cont} = \frac{e_0}{i_0} = \text{tang. } \beta$$

[1] Tratta da uno studio dell'ing. Kinchstein.

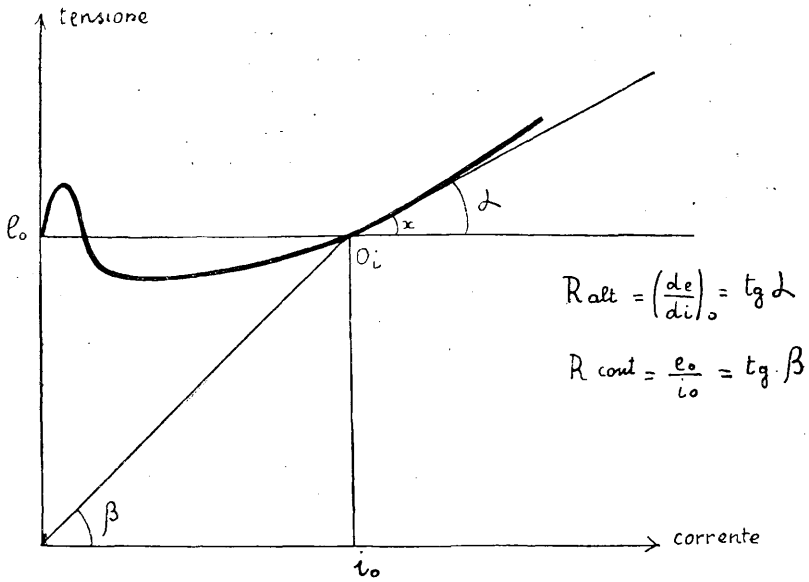



Fig. 197.

La resistenza per corrente alternata ha teoricamente lo stesso significato della pendenza della caratteristica statica

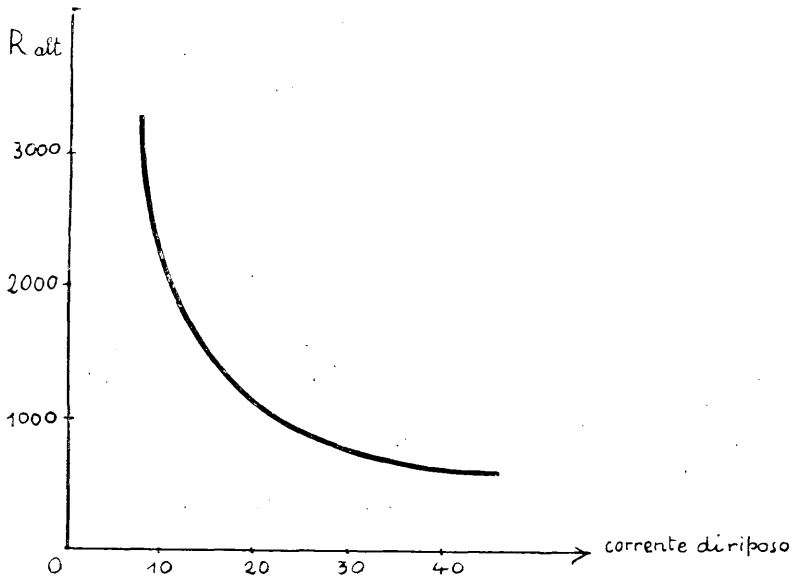



Fig. 198.

nel punto considerato. Segue da ciò che l'apparizione della « isteresi » di cui abbiamo già parlato, non si può ricavare semplicemente mediante costruzione grafica della caratteristica statica, ma deve essere misurata direttamente per ogni frequenza e per ogni tensione alternata di alimentazione.

In realtà si dimostra che la resistenza per corrente alternata per ampiezze non troppo grandi della corrente alternata, è indipendente dall'ampiezza di questa corrente.

Risulta inoltre che la resistenza per corrente alternata dipende fortemente dalla grandezza della corrente di riposo i_o (ved. figura 198).

Se noi troviamo i valori della resistenza per corrente alternata in funzione di varie frequenze, molto elevate, fino a 100,000 cicli, notiamo sempre un *forte aumento della resistenza di corrente alternata* con l'aumentare della frequenza della tensione alternata applicata.

Connessioni.

Un circuito nel quale la lampada può essere adoperata è riprodotto nella figura 199. L'ultima valvola amplificatrice può essere una valvola della potenza di uscita di 2 a 3 watt. Nel circuito anodico di questa valvola si trova inserito una bobina di « Choc » (si può anche adottare una resistenza). Ai capi di questa bobina hanno origine le variazioni di tensione. Questa bobina deve essere costruita in modo che con tensioni di griglia di uguale ampiezza (per tutte le frequenze da 50 a 10,000) le stesse tensioni si producono ai suoi capi.

V_a è la tensione anodica della valvola finale, mentre V è la tensione della lampada di televisione la quale deve essere dell'ordine di 280 - 350 V, mentre la corrente che l'attraversa resta limitata da una resistenza R di circa 1000 ohm. Questa resistenza ha lo stesso scopo della resistenza stabilizzatrice disposta nello zoccolo delle lampade « veilleuse ». La caduta di tensione della lampada di televisione è allora di circa 260 V e la corrente di circa 20 m/Amp. Le batterie V_a e V devono di preferenza essere connesse come nella fig. 199. In questo caso la caduta di tensione nella bobina di « Choc », S ha la stessa direzione della tensione della batteria V in modo che

queste due tensioni si sommano. Una tensione continua di 20 V potrà per es. esistere ai capi di *S*. Per la batteria V si possono adoperare benissimo due alimentatori di placca col-

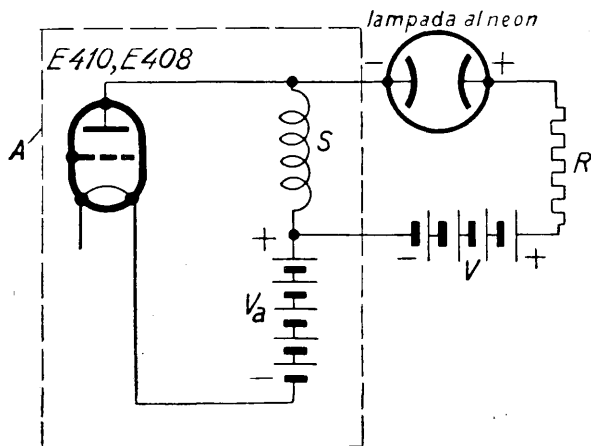



Fig. 199.

legati in serie. Un secondo schema di connessione è riprodotto nella figura 200. In questo caso la lampada ricevente di televisione è inserita direttamente nel circuito anodico dell'ul-

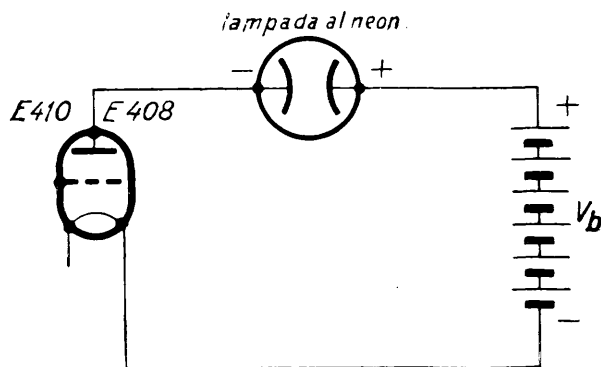



Fig. 200.

tima valvola. La batteria V deve avere in questo caso una tensione uguale alla somma della tensione anodica della valvola finale e della caduta di tensione nella valvola di televisione. Per una valvola Philips E 408 per es. la cui tensione

anodica è di 400 V, si ha:

$$V = 400 \text{ V} + 260 \text{ V} = 660 \text{ V}.$$

Poichè in questo caso la valvola serve già come resistenza limitatrice di corrente, la resistenza R può essere molto più piccola, oppure può essere soppressa. La corrente anodica, come pure la corrente che attraversa la lampada di televisione, devono ancora essere di circa 20 m/Amp. Lo schema di connessione della fig. 200 ha lo svantaggio che regolando la corrente continua che attraversa la lampada di televisione a un valore differente, la corrente che attraversa l'ultima valvola di amplificazione cambia ugualmente.